

Our Ref.: 160-352
T3YT-00S1371

U.S. PATENT APPLICATION

Inventor(s): Hiromitsu TAKAMORI
Kazuhiro IINUMA
Manabu ISHII
Yasuhiro UOSAKI
Ayumi KATSUNUMA
Kazuto NAKABAYASHI
Yoshinori HAMAMURA
Motohiro MIURA
Susumu MIYAKE
Yasutake YASUHARA

Invention: MAGNETIC RESONANCE IMAGING APPARATUS

**NIXON & VANDERHYE P.C.
ATTORNEYS AT LAW
1100 NORTH GLEBE ROAD
8TH FLOOR
ARLINGTON, VIRGINIA 22201-4714
(703) 816-4000
Facsimile (703) 816-4100**

SPECIFICATION

TITLE OF THE INVENTION

磁気共鳴イメージング装置(MAGNETIC RESONANCE IMAGING APPARATUS)

BACKGROUND OF THE INVENTION

5 本発明は、一様な静磁場中に配置された被検体に、傾斜磁場パルス及び高周波
磁場パルスを印加することにより磁気共鳴信号（MR信号）を発生させ、このM
R信号に基づいて磁気共鳴画像（MR画像）を発生する磁気共鳴イメージング装
置に関する。

10 磁気共鳴現象は、よく知られているように、固有の磁気モーメントを持つ核の
集団が一様な静磁場中に置かれたときに、特定の周波数で回転する高周波磁場の
エネルギーを共鳴的に吸収する現象である。磁気共鳴診断装置は、この磁気共鳴
現象を利用して、生体内物質の化学的及び構造的な微視的情報を映像化する装置
である。

15 映像化手法として様々なタイプがあるが、その主流は、2次元フーリエ変換法
(2DFT) である。この2DFTでは、磁気共鳴信号に空間的な位置情報を位
相や周波数で与えるために傾斜磁場が使われる。この傾斜磁場は、数キロから1
0キロガウス（1テスラ）という非常に強い静磁場に重畠される。このため傾斜
磁場の立ち上がりと立ち下がり時に傾斜磁場コイルスプールが激しく変形し、こ
れに伴って騒音が激しく発生する。近年のエコープラナー法に代表される高速撮
20 影法では、傾斜磁場を高速で交番させるため、その騒音は、100dB(A)に
も達することもあり、被検体に対して耳栓やヘッドフォーンの装着が義務付けら
れているほどである。

25 この激しい騒音を軽減するために、傾斜磁場コイルスプールを密閉容器に収容
し、騒音が外部に漏れにくくする提案が、例えば特開昭63-246146号公
報、特開平6-189932号、米国特許5,793,210号、特開平10-
118043号公報（特願平8-274609号）等に記述されている。この密
閉容器は、十分な耐圧性を確保するために、非磁性体のアルミニウムやステンレ
スで強固に作成されている。

これらの材料は導電性であるので、傾斜磁場コイルからの漏れ磁場に対して磁

気的カップリングを起こす。もちろん、主コイルの外側をシールドコイルで囲つ
たいわゆるアクティブシールド型傾斜磁場コイルであれば、漏れ磁場は十分抑え
られるが、シールドコイルが途切れる両端からの磁場の漏洩は避けられない。上
記磁気的カップリングにより、密閉容器に渦電流が流れ、この渦電流により密閉
容器自体が変形し、それに伴って騒音が生じるという新たな問題があった。

5 容器自体が変形し、それに伴って騒音が生じるという新たな問題があった。
また、これら従来例における遮音方法では、空気を伝わって聞こえる空気伝搬
は真空状態により遮断することができるが、固定のための接触による固定伝搬は
遮断することができず、この固定伝搬により大きな音が発生し、騒音対策として
は不十分であった。また、振動の大きい傾斜磁場コイルを単独で床から支持して
10 固定伝搬を抑える方法もあるが、傾斜磁場コイルと床までの距離が長いため傾斜
磁場コイルを床に支える支柱の下部の位置が少しずれると、支柱上部に取り付け
られた傾斜磁場コイルの位置が大きくずれることとなり、傾斜磁場コイルの位置
調整が困難であり、据付調整にも長時間を要し費用も嵩むという問題を有してい
た。また、傾斜磁場コイルを支える手段および傾斜磁場コイルの周囲に形成され
た。また、傾斜磁場コイルを支える手段が構成上複雑であり、また部品点数も多くなる等して、
15 た密閉空間を形成する手段が構成上複雑となりコストも高くつく。

装置全体も複雑な構成となりコストも高くつく。

また、振動吸収装置（ダンパー）を介して傾斜磁場コイルを支持することで、

傾斜磁場コイル自体の固体振動伝播の抑止を図る技術も知られている。
しかしながら、これら従来の磁気共鳴イメージング装置における騒音低減効果
は、傾斜磁場コイルを発生源とする騒音対策に終始しており、その他の部分、例
えは、傾斜磁場コイルと外部電源とを結ぶケーブルの振動に伴って発生する騒音
の対策は殆ど講じられていないのが現状である。

また、被検体（患者）挿入空間（「ボア」という）内においては、傾斜磁場コ
イルからではなくRFコイルから発生する音が騒音として被検体に知覚されるよ
うになる。これは、傾斜磁場コイルからの騒音と同様、被検体に不快感を与える
ものである。しかしながら、従来、RFコイルの構造としては、導体パターンを
スプールに貼付け、その周囲を硬質の樹脂等からなるカバーによって被うという
ものであり、RFコイル自身が発する音についての対策はなされていなかった。

このように近年では様々な静音対策が講じられているが、この静音対策ゆえの2次的な問題も生じている。周知のとおり、RFコイルの一つに、全身撮影で用いられる全身用RFコイル（whole body RFコイル；以下、WBコイルと呼ぶ）がある。このWBコイルは通常、ガントリ内において、他のコイルよりも患者に一番近い位置に配置される。このWBコイルには、スピンドル起用RF磁場を発生させるとともに、被検体内に発生したMR信号を受信する、いわゆる送受兼用タイプのコイルや、スピンドル起用のRF磁場のみを発生させ、受信は他のサーフェースコイルなどで行う、いわゆる送信専用タイプのコイルがある。そして、殆どのMRI装置にあっては、このWBコイルの外周側に傾斜磁場を発生させる傾斜磁場コイルが配置されている。この傾斜磁場コイルを用いて磁場強度が位置に応じて線形に変わる磁場が高効率で被検体に印加される。このため、通常、傾斜磁場コイルの導体は、前記WBコイルに比べて、より多くの巻数で巻装されている。さらに、傾斜磁場コイルは、MRIで使用される共鳴周波数よりも格段に低い周波数域で高効率のスイッチングを行う必要がある。つまり、共鳴周波数域において無視できないエネルギー損失が起こり易い。

したがって、WBコイル（共鳴周波数に合わせて回路的に共振している）にとって、その配置された傾斜磁場コイルによる電気的損失は無視できない負荷となり、励起用RF磁場の発生効率の低下や受信感度の低下を招いてしまう。

そこで、WBコイルと傾斜磁場コイルとの磁気的な干渉を抑制するため、この両者間に、図12に模式的に示す如く、共鳴周波数に対して損失が十分に小さいシールド（銅箔などのシールド体）を配置する手法が採られている（例えば米国特許第5,367,261号参照）。このシールドは通常、アースされる。

その一方で、このようにシールドを配置すると、このシールドに因ってWBコイルの受信感度を低下させることが知られている（例えば、文献“*A Technique of Double Resonant Operation of F and H Quadrature Birdcage Coils*”*Magnetic Resonance in Medicine* 19, 180-185 (1991) 参照）。しかしながら、シールドに抱るWBコイルの損失よりも、シールドを配置しない場合のWBコイルと傾斜磁場コイルの相互干渉

に拠る損失の方が大きいため、大半のMR I 装置では止む無く上述のようにシールドを配置している。なお、上述の文献からも分かるように、シールドとWBコイルとの距離が大きくするほど、WBコイルの効率低下を抑えることができる。

5 このようにシールドそのものは次善の策として用いられるが、しかし、このシ

ールドをWBコイルとは実質的に異なる電位に容易に固定できる。これを利用して、WBコイルとシールドとの間に電気的なスイッチを設け、このスイッチの開閉をコントロールすることでWBコイルの共鳴周波数をずらす、いわゆる「デチューン」が知られている（例えば米国特許第5, 053, 711号参照）。また、シールドを例えば零電位に固定することで、WBコイルとWBコイルまでの回路

10 との零電位面としても利用される。

ところで、傾斜磁場コイルはその駆動時に作用する電磁力に起因して機械的に振動し、音（ノイズ）の発生源になっている。この音を低減させるために、内部の気圧を大気圧よりも実質的に低い値に制御した円筒状の容器に傾斜磁場コイルを封入配置し、音の空気伝播を減らす構造のものも知られている（例えば米国特

15 許第5, 793, 210号参照）。

しかしながら、このような静音化タイプのMR I 装置に前述したシールドを配置する場合については、好適な且つ具体的な提案は未だなされていなかった。

そこで、従来のシールドの配置法をこの静音化タイプのMR I 装置にそのまま適用するとすれば、以下のような構成になるものと想定される。まず、WBコイルは、被検者になるべく近くに配置してS/Nを良くするという観点から、容器の内周側壁体の外部側、つまり容器の内周面の側に配置される。シールドは、WBコイルに対する固定電位として、スイッチや伝送系の零電位としても利用されるので、やはり容器の内周側壁体の外側、つまり容器の内周側に配置せざるを得ない。それは、これらの目的に対してもシールドを利用するには、WBコイルに近い位置でシールドとの電気的な接続をとる方が都合がよいからである。この結果、被検者から磁石半径方向にみて、WBコイル、シールド、容器（傾斜磁場コイルを封入）、及び静磁場磁石の順に並ぶことになる。

しかし、このように容器の内周側壁体の外側、つまり容器の内周側にシールドが配置されると、ガントリ全体の径方向のサイズを同じにするという条件の元で

は、WBコイルとシールドとの間の磁石径方向の間隔が、従来の容器を用いない構造に比べて、単純に言っても容器厚さ（内周側壁体及び外周側壁体の合計厚さ）の分だけ狭くなる。これは、前述したように、WBコイルの損失の増大を招き、重大な機能低下ともなりかねない。

5 さらに、上述のように傾斜磁場コイルを真空容器に収容する構成とした場合、
5 真空容器内においては放電開始電圧が下がるため放電を起こしやすくなる。この
放電対策は殆どなされていないのが現状である。

BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

10 本発明の目的は、磁気共鳴診断装置のガントリの静音性を向上することにある。
本発明の他の目的は、静音化タイプのMR I装置において、WBコイルと傾斜
磁場コイルとの電気的、磁気的な干渉を防ぐシールドを好適に配置することにあ
る。

15 本発明の更に他の目的は、密閉容器内の傾斜磁場コイルとケーブルとの接続部
分等の電気的な接続部分の絶縁性能を向上することにある。

15 分等の電気的な接続部分の絶縁性能を向上することにある。
磁気共鳴イメージング装置のガントリは、静磁場磁石と、傾斜磁場コイルと、
高周波コイルと、前記傾斜磁場コイルを収容する密閉容器とを備える。密閉容器
は、非導電性材料で構成される。傾斜磁場を高速でスイッチングしても、密閉容
器には渦電流は流れない。したがって密閉容器は振動しない。

20 Additional objects and advantages of the invention will be set forth
in the description which follows, and in part will be obvious from the
description, or may be learned by practice of the invention. The
objects and advantages of the invention may be realized and obtained by
means of the instrumentalities and combinations particularly pointed out
herein after.

BRIEF DESCRIPTION OF THE SEVERAL VIEWS OF THE DRAWING

The accompanying drawings, which are incorporated in and constitute a
part of the specification, illustrate presently preferred embodiments of

the invention, and together with the general description given above and the detailed description of the preferred embodiments given below, serve to explain the principles of the invention.

図 1 は、本発明の第 1 実施例において、ガントリの横断面図。

5 図 2 は、第 1 実施例において、ガントリの縦断面図。

図 3 は、第 2 実施例において、ガントリの縦断面図。

図 4 は、第 2 実施例において、密閉容器の内ケーブルと外ケーブルとの連結板の断面図。

図 5 は、図 4 のリング状防振部材 A の断面図。

10 図 6 は、図 4 の防振部材 B の外観図。

図 7 A は、第 3 実施例において、ガントリの横断面図。

図 7 B は、第 3 実施例において、ガントリの縦断面図。

図 8 は、第 3 実施例において、静磁場磁石側面と密閉容器の蓋との接合部分の断面図。

15 図 9 は、第 3 実施例において、蓋と内筒（ライナー）との接合部分の断面図。

図 10 は、第 3 実施例において、静磁場磁石側面と密閉容器の蓋との接合部分の断面図。

図 11 は、第 3 実施例において、静磁場磁石側面と密閉容器の蓋との接合部分の断面図。

20 図 12 は、第 3 実施例において、蓋と内筒（ライナー）との接合部分の断面図。

図 13 は、第 3 実施例において、ガントリの縦断面図。

図 14 は、第 4-1 実施例において、ガントリの縦断面図。

図 15 は、第 4-1 実施例において、ガントリの横断面図。

図 16 は、図 15 の部分断面図。

25 図 17 は、第 4-1 実施例において、WB コイル、シールド、及び鏡像コイルの位置関係を示す横断面図。

図 18 は、従来のデチューン回路図。

図 19 は、第 4-1 実施例に係るデチューン回路図。

図 20 は、第 4-3 実施例に係るシールドの斜視図。

図21は、第4-3実施例に係る他のシールドの斜視図。

図22は、第4-4実施例において、WBコイルと容器内壁とシールドとのアライメントを示す断面図。

図23は、第4-4実施例において、WBコイルと容器内壁とシールドとの他
5 アライメントを示す断面図。

図24は、第4-4実施例において、WBコイルと容器内壁とシールドとのさ
らに他のアライメントを示す断面図。

図25は、従来において、WBコイル、シールド、及び傾斜磁場コイルの位置
関係を断面図。

10 図26は、第5-1実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の構成図。

図27は、第5-1実施例のRFコイルのコンポーネントを示す斜視図。

図28は、第5-1実施例のRFコイルの横断面図。

図29は、第5-1実施例のRFコイルの部分断面図。

図30は、第5-1実施例のRFコイルのカバーの接合部分の断面図。

15 図31は、第5-1実施例のRFコイルの電気部品の防振構造を示す図。

図32は、第5-2実施例に係るRFコイルの横断面図。

図33は、第5-2実施例に係るRFコイルの部分断面図。

図34は、第6実施例において、ガントリの縦断面図。

図35は、図34のケーブル連結板の断面図。

20 図36は、図35のケーブル端子の部品図。

図37は第7実施例による磁気共鳴イメージング装置の基本的構成を示す図。

図38は第7実施例に係るガントリの縦断面図。

図39は図38の破線内の拡大図。

図40Aは第8実施例に係る密閉容器の斜視図。

25 図40Bは第8実施例に係る密閉容器の正面図。

図40Cは第8実施例に係る密閉容器の部分断面図。

図40Dは第8実施例に係る密閉容器の部分拡大図。

図41は第9実施例に係る密閉容器の斜視図。

図42は図41の密閉容器と静磁場磁石容器との接合を示す横断面図。

図43は第10実施例に係る静磁場磁石のクライオスタットの縦断面図。

図44は図43の動的振動吸収器の内部構造図。

図45は第10実施例の他の例によるコールドヘッド部分の内部構造図。

図46は第11実施例に係るガントリの縦断面図。

5 図47は第12実施例に係る傾斜磁場コイルユニットの縦断面図。

図48Aは第13実施例において、ノイズ電波の発生原理を示す図。

図48Bは第13実施例において、ノイズ電波の発生原理を示す図。

図49は第13実施例において、チューナ銅板及びその接続部品を示す図。

図50は第13実施例において、金属部品どうしの接続例を示す図。

10 図51は第13実施例において、金属部品どうしの他の接続例を示す図。

図52は第13実施例において、金属部品どうしの絶縁接続例を示す図。

図53は第13実施例において、金属部品どうしの他の絶縁接続例を示す図。

図54は第13実施例において、金属部品どうしのさらに他の絶縁接続例を示す図。

15 図55は第14実施例に係るRFシールドの斜視図。

図56は第15実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図。

図57は第16実施例に係る密閉容器の真空ポンプの系統図。

図58は第16実施例において、密閉容器内の圧力変化を示す図。

図59は第16実施例において、真空ポンプのオン／オフとバルブの開閉との

20 タイミングチャート。

図60は第17実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の主要部構成図。

図61は第18実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の主要部構成図。

図62Aは第18実施例において、真空ポンプの第1運転パターンを示す図。

図62Bは第18実施例において、真空ポンプの第2運転パターンを示す図。

25 図62Cは第18実施例において、真空ポンプの第3運転パターンを示す図。

DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

(第1実施例)

図1、図2に第1実施例に係る磁気共鳴診断装置のガントリの横断面図、縦断

面図をそれぞれ示している。ガントリは、静磁場磁石ユニット 1001、傾斜磁場コイルユニット 1041、RFコイルユニット 1042とを有する。ガントリの略中央部には、略円筒形状の撮影領域 1022 が形成される。ガントリは、ベース 1015 で床 1021 に設置固定されている。

5 静磁場磁石ユニット 1001 は、撮影領域 1022 内に静磁場を発生するものであり、超電動タイプであれば、超電動コイルと、その超電動コイルを収容する液体ヘリウム容器と、さらに液体ヘリウム容器を収容する密閉容器 1036 とから構成される。RFコイルユニット 1042 は、RFコイルパターンが形成されたRFコイルスプール 1017 を有する。RFコイルスプール 1017 は、円筒

10 形の繊維強化プラスチック製のライナー 1031 に保持される。

また、傾斜磁場コイルユニット 1041 は、樹脂製コイルスプール 1002 を有する。コイルスプール 1002 には、主コイルと、主コイルの外側をシールドするシールドコイルとが形成されている。この傾斜磁場コイルスプール 1002 は、傾斜磁場コイルスプール 1002 の振動による騒音を伝搬しないように、密閉容器 1003 に収容されている。この密閉容器 1003 の内部空気を、真空配管 1006 を介して繋がっている真空ポンプ 1007 により強制排出することにより、密閉容器 1003 内部を真空状態に維持するようになっている。なお、この密閉容器 1003 の真空度は、完全真空は必要ではなく、空気伝播音を遮音する程度、例えば数百パスカル数（数トル(torr)）程度で十分と言える。なお、遮音効果 S は、密閉容器 3 の真空度を P1 とすると、

$$S = 20 \log_{10}(P1 / 760)$$

で与えられ、真空度 P1 を 931 パスカル（約 7 トル）とすると、約 40 dB の遮音効果が得られることになる。

この傾斜磁場コイルは、ケーブル 1004 を介して外部の傾斜磁場電源に接続されている。また、傾斜磁場コイルスプール 1002 の内部に形成されている冷却水流路は、外部の冷却器にホース 1005 を介して接続されている。また、傾斜磁場コイルスプール 1002 は、その振動の機械的な伝搬をできるだけ抑制するように、防振ゴム 1009, 1010、ボルト 1011, 1012、アーム 1013、シャフト 1014 を介してベース 1015 に支えられている。シャフト

1014は、ベローズ1008で取り巻かれている。

この傾斜磁場コイルユニット1041の密閉容器1003の内壁は、ライナー1031と共に用されている。また、密閉容器1003の外壁の一部分1034は、静磁場磁石ユニット1001のクライオスタット1036の内壁と共に用されている。これら共用部分は全て、フィラメントワインディング製法によるガラス繊維強化プラスチック等の非磁性且つ非導電性の材料で作成されている。クライオスタット1036の内壁部分1034は、接合部1037で密閉容器1003の外壁部分1032と接合される。この接合部分は、Oリング16でシールされている。外壁部分1032と、内壁1031との間は、蓋1033で閉じられている。これら外壁部分1032と蓋1033も、同様に、フィラメントワインディング製法によるガラス繊維強化プラスチック等の非磁性且つ非導電性材料で作成されている。

この密閉容器1003の蓋1033は、図2に破線で強調して示すように、大気圧に対する耐性を向上するために、外側に向かってボウル状に突き出た形状に成形され、さらに蓋1033の内側は、格子状に組み合わされた複数のリブ1035で補強されている。

このように密閉容器1003が非導電性材料で作成されているので、傾斜磁場コイルから漏れ磁場が生じても、密閉容器1003に渦電流が流れず、このため、その渦電流に起因して発生していた密閉容器1003の変形による騒音は、解消される。

(第2実施例)

図3は第2実施例の磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図である。クライオスタット2001の中に超電導コイルが収まっている。この超電導コイルは撮影領域に一様な静磁場を与えるものである。通常のMR撮影において必要とされる静磁場強度は0.1~1テスラ程度である。静磁場の空間的な均一性は数10ppm以下であることが要求され、撮影領域は直径が50cm程度の球状である。

傾斜磁場コイル2002は、密閉容器1003の中に配置されている。傾斜磁場コイル2002は任意の撮影断面を決めたり、被検体からのRF信号に位置情

報を付加するなどの目的で、主磁場に線形の傾斜を与えるためのものである。一般に、傾斜磁場コイル 2002 は直交する x, y, z の各軸方向にそれぞれ傾斜した磁場を作る独立した 3 組のコイルセット Gx, Gy, Gz より構成される。例えば本実施例の傾斜磁場コイル 2002 は、能動遮蔽型傾斜磁場コイル 5 (Actively Shield Gradient Coil : ASGC) とする。能動遮蔽型傾斜磁場コイルは傾斜磁場を発生する主コイルと、この主コイルの外側に設けられ、主コイルから発生された傾斜磁場が傾斜磁場コイルの外側へ漏洩することを防ぐように逆向きの磁場を発生するアクティブシールドコイルとにより構成される。

密閉容器 2003 の外側に配置される外ケーブル 2060 と密閉容器 2003 の内側に配置される内ケーブル 2008 は、密閉容器 2003 内に納められている傾斜磁場コイル 2002 と外部電源とを接続する。外ケーブル 2060 と内ケーブル 2008 は、密閉容器 2003 に取り付けられた連結板 2004 で連結される。

傾斜磁場コイル 2002 は、4 本の支柱 2013 により支持されている。傾斜磁場コイル 2002 と 4 本の支柱 2013 それぞれの間には、防振部材 2012 と位置調整用ボルト 2011 が設けられている。防振部材 2012 は、傾斜磁場コイル 2002 の固体振動を減衰する。それにより傾斜磁場コイル 2002 の固体振動は、支持アーム 13 にほとんど伝播しない。防振部材 2012 は、ゴムから成る。しかし、防振部材 2012 は、空気ダンパー又はオイルダンパーで構成してもよい。位置調整用ボルト 2011 は、傾斜磁場コイル 2002 の高さを微小調整するために設けられている。支持アーム 2013 は、ベース 15 上に立てられているシャフト 2014 の上にマウントされる。シャフト 14 の周囲は、金属製のベローズ 2019 でシールされている。

密閉容器 2003 の側面には孔が開けられており、この孔に配管 6 が接続される。この接続部分は、O リング 2017 でシールされている。配管 6 は真空ポンプ 2007 に接続されている。真空ポンプ 2007 は、密閉容器 2003 の内部空気を排気する。これにより密閉容器 2003 の内部は真空状態にされる。その真空度は傾斜磁場コイル 2002 による振動音の空気伝播を遮断できる程度で良く、具体的には数百パスカル程度で十分である。また遮音効果は次のように表さ

れる。なお、次式におけるP1は密閉容器3内の真圧度（パスカル）である。

$$S = 2010 \log_{10} (P1 / 1.01325 \times 10^5) \quad (\text{デシベル: dB})$$

例えば、密閉容器2003内の真圧度が1000パスカルであれば約40dBの遮音効果が得られることになる。

5 傾斜磁場コイル2002を駆動すると発熱する。傾斜磁場コイル2002を冷却するための冷却水を外部の熱交換器との間で循環するためのホース2018が密閉容器2003を貫通している。

円筒形状をなす傾斜磁場コイル2002の内側には、RFコイル2010が配置される。このRFコイル2010は、全身（Whole Body）用のRFコイルであって、高周波（RF）磁場を被検体に送信し、該被検体からの磁気共鳴（MR）信号を受信するためのものである。

10 本実施例の磁気共鳴イメージング装置では、上記のように、傾斜磁場コイル2002が密閉容器2003に収容されており、この傾斜磁場コイル2002の固体振動は防振部材2012で減衰される。本実施例の装置は、以下に説明するよ
15 うにさらなる防振策が講じられている。

図4は、密閉容器2003の内側の内ケーブル2008と外側の外ケーブル2060と密閉容器2003を挟んで連結する連結板2004の断面を示している。外部電源からの外ケーブル2060の端子2061は、連結板2004の外コネクタ2082にねじ止めされている。この外コネクタ2082は、密閉容器2003の内側に突き出た内コネクタ2083に電気的に接続されている。内コネクタ2083には、傾斜磁場コイル2のコネクタ2021からの内ケーブル2008の端子2081が接続されている。

20 密閉容器2003には、孔Hが開けられている。この孔Hと同じ径の孔を有する取り付け板2030が密閉容器2003の表面に貼り付けられている。取り付け板2030には、連結板2004が、複数のねじ2051によりねじ止めされている。取り付け板2030と連結板2004との隙間には、リング状のゴム部材Aがはめ込まれている。図5に示すように、ゴム部材Aは、略台形の断面形状を有し、しかもトング状の突起を備えている。部材Aの上部Tは、取り付け板2030に押し付けられる。一方、下部Uは、密閉容器3側の取り付け板30に押

し付けられる。このゴム部材Aは硬度が例えれば40程度であり、上部Tの幅が下部Uの幅よりも小さい、バネ定数が極めて低い素材からなる。このようなゴム部材Aは、ケーブル2008の振動を減衰する。それによりケーブル2008の振動が密閉容器2003へ伝搬するのを防ぐことができる。なお、ケーブル200

5 8の振動は、傾斜磁場コイル2の振動の固体伝搬およびケーブル2008自体のローレンツ力により発生する。

また、ゴム部材Aはシール部材であるOーリングの役目も兼ね備える。比較的柔らかく、しかも上述した形状を持つゴム部材Aは、大気圧により適当に変形する。この変形によりゴム部材Aは、連結板2004と取り付け板2030とに強

10 く密着する。それにより高いシール効果が得られる。

このようにゴム部材Aによれば、ケーブル導入のために形成された密閉容器2003への連結板2004の取り付け箇所において、連結板2004の振動が密閉容器2003に伝搬するのを防止できる。またゴム部材Aは、連結板2004とともに密閉容器2003の孔Hを隙間なく塞ぐような形状としているので、新たに特別な構造を設けることなく密閉容器2003の真空をシールするという機能をも併せもつ。なお、ゴム部材Aの形状は図5に示すようなリング状に限定されず、孔Hを隙間なく塞ぐことができれば、どのような形状でもよい。

本実施例では、連結板2004を取り付け板20030にねじ止めする箇所にも防振策を講じている。すなわち、連結板2004には、ネジ2051を挿入する孔が開けられており、この孔に図6に示す略円筒形のゴム製のスペーサBを挿入し、そのスペーサBの孔にねじ2051を挿入する。このスペーサBは、上述したゴム部材Aと同様にばね定数が極めて低い部材から構成されている。

このスペーサBによると、ケーブル2008等を経て連結板2004に伝わった傾斜磁場コイル2002からの振動や、ケーブル2008自体のローレンツ力による振動が連結板2004のねじ2051から密閉容器2003へ伝搬するのを防ぐことができる。したがって、密閉容器2003が振動することによる騒音を低減できる。

上述した実施例は、連結板2004に2つの部材A、Bを設けるものであったが、いずれか一方のみとしても発明の効果が得られる。また、傾斜磁場コイルを

密閉容器に収容しない装置構成又は傾斜磁場コイルに振動吸収装置を設けない装置構成の磁気共鳴イメージング装置に本発明を実施しても良い。また、静磁場発生方式は超電導コイルによるもののみに限定されず、また、傾斜磁場コイルも能動遮蔽型傾斜磁場コイルのみに限定されることは言うまでもない。

5 (第3実施例)

図7Aは、第3実施例における磁気共鳴イメージング装置のガントリの横断面図、図7Bは縦断面図である。ガントリ3019は、患者を挿入・配置するための略円筒形状の撮影空間Sを有する。このガントリ3019の撮影空間Sに被検体3008は天板3009に載って挿入される。ガントリ3019および天板3

10 009の動作は、制御処理部の制御下にある。撮影空間Sに対して、その軸方向をZ方向とし、このZ方向に直交する方向をX、Y方向とする。ガントリ3019は、撮影空間Sに静磁場を生成する例えは超電導磁石で構成される静磁場磁石と、それを収容するクライオスタット3001を有する。クライオスタット3001は、床F上に立てられた4本の脚体3027にマウントされる。床Fはたとえ

15 えばコンクリート性の剛性の高い材料で形成されている。クライオスタット3001の内側には、傾斜磁場コイル3002と、撮影空間Sを確保するライナー3004が設けられている。

傾斜磁場コイル3002は、巻線としてxコイル、yコイルおよびzコイルを有し、それらをスプール上に積層・含浸して形成したもので、全体として略円筒状に形成されている。傾斜磁場コイル3002は、支持ブラケット3005、防振ゴム3006および磁石インターフェース3007からなる接続部分を介して、クライオスタット3001の内側に取り付けられている。なお詳しい説明は後述する。

ライナー3004は、防振ゴム3011、真空蓋3003、Oリング3010、磁石インターフェース3007、ボルト3020、ワッシャー3021からなる接続部分を介して、クライオスタット3001に取り付けられており、クライオスタット3001の内周側とライナー3004および真空蓋3003とにより傾斜磁場コイル3002の周囲を真空に保つようになっている。なお、詳しい説明は後述する。

また、真空蓋3003の一部には、真空ホース3017が取り付けられており、その先に真空ポンプ3018が設けられている。

つぎに、上述の傾斜磁場コイル3002とクライオスタット3001の接続について詳しく説明する。

5 傾斜磁場コイル3002は、Z方向の両端に略円弧状の支持ブラケット3005が、ボルト等の接続具で接続されている。支持ブラケット3005は、Z方向から見た場合、傾斜磁場コイル3002の一部に沿うような形である略円弧状であり、また、X方向から見た断面は略L字型となっている。なお、略L字型の一辺は、傾斜磁場コイル3002の内周と外周の間の厚さと略同じ長さであり、こ
10 の部分に傾斜磁場コイル3002と接続するためのボルト用の穴が設けられている。

また、前記L字型の他の一辺は、内周側にくるように配置され、その外周側には、防振ゴム3006が2つ取り付けられている。

15 Z方向の両側にある支持ブラケット3005にそれぞれ取り付けられた計4つの防振ゴム3006は、略円筒状のクライオスタット3001のZ方向の両側に溶接などにより接合された略環状の磁石インターフェース3007に取り付けられている。磁石インターフェース3007の形状は、上下非対称でもよい。

20 また、ここで支持ブラケット3005および防振ゴム3006は天板3009よりも下部の空間に設けられている。これにより、天板3009より上部の密閉空間は下部の密閉空間に比べ体積を小さくすることができ、図7A、7Bに示されるとおり、真空蓋3003の上部を撮影空間S側に切り込ませて作成することができ、被検体3008が上部を向いた状態でガントリ3019内に插入される際、圧迫感を和らげることができる。

25 なお、さらに、防振ゴム3006は傾斜磁場コイル3002の重量を下部から支える役目も有している。

したがって、傾斜磁場コイル3002に支持ブラケット3005を設け、支持
ブラケット3005に防振ゴム3006を取り付け、防振ゴム3006に磁石イ
ンターフェース3007を取り付け、磁石インターフェース3007にクライオ
スタット3001が接合されている。なお、ここで接続の順序が特に限定される

わけではない。

つぎに、上述のクライオスタッフ 3001 とライナー 3004 の接続について、クライオスタッフ 3001 と真空蓋 3003 の接続、および真空蓋 3003 とライナー 3004 の接続に分けて、詳しく説明する。

5 図 8 は、クライオスタッフ 3001 に設けられた磁石インターフェース 3007 と真空蓋 3003 の接続部の拡大図である。クライオスタッフ 3001 と真空蓋 3003 の接続は、クライオスタッフ 3001 に設けられた磁石インターフェース 3007 に真空蓋 3003 からボルト 3020 とワッシャー 3021 で締め付けて固定する構造である。

10 真空蓋 3003 は、ライナー 3004 とクライオスタッフ 3001 の口径の差による隙間を、Z 方向の両側から密閉するためのもので、外径はクライオスタッフ 3001 の径と略同じ程度、内径はライナー 3004 の径と略同じ程度の略環状の形状である。

15 また、真空蓋 3003 の磁石インターフェース 3007 側には、真空蓋 3003 の周回に沿うように略環状の溝が設けられており、前記略環状の溝に O リング 3010 が設けられている。O リング 3010 は、真空蓋 3003 と磁石インターフェース 3007 の密閉性を高めるために用いられている。また、真空蓋 3003 の周回上には、ボルト 3020 を締め付けるための孔が設けられている。

20 つぎに、真空蓋 3003 とライナー 3004 の接続について説明する。図 9 は 真空蓋 3003 とライナー 3004 の接続部の拡大図である。真空蓋 3003 とライナー 3004 の間には、防振ゴム 3011 が設けられている。防振ゴム 3011 は、内径が真空蓋 3003 の内径およびライナー 3004 の内径と略同じ程度の略環状の形状で、X 方向から見た断面は略 L 字型である。

25 真空蓋 3003 およびライナー 3004 は、防振ゴム 3011 を Y 方向から挟み且つ Z 方向からも挟むことができる構造となっている。

防振ゴム 3011 を Z 方向から挟むことにより、図 7 B および図 9 中の矢印 A 7 で示される外気圧と真空圧の圧力差により生じる力により、真空蓋 3003 およびライナー 3004 を密閉、接続することができる。

また、防振ゴム 3011 を Y 方向から挟むことにより、Y 方向からの力、例え

ばライナー3004または被検体3008の重量などの力から、ライナー3004を保持することができる。

なお、L字型の各部分の長さは、ライナー3004に多少の力たとえばライナー3004の重量または被検体の体重程度が加わっても変形しにくく、ライナー

5 3004と真空蓋3003が外れないような長さにしておく。

また、防振ゴム3011の真空蓋3003側およびライナー3004側のそれぞれ対向する位置には、凸部3011aが設けられている。なお、図9では、使用前の形状を示すため点線で円弧状に凸部3011aを描いているが、実施に使用される際には、真空蓋3003とライナー3004の間につぶれた形状で挿入

10 される。

凸部3011aは、防振ゴム3011の周回に沿うような略環状の形状であり、真空蓋3003とライナー3004を密閉することができ、真空度を高めるために使用されている。

また、防振ゴム30011がライナー3004と接する面のうち凸部3011a以外の面には、X方向から見た断面が防振ゴム3011のL字型に沿うようなクランク型をしており、Z方向から見た断面が、撮影空間Sを周回するような略環状である剛性の高いフランジ3011bが設けられている。フランジ3011bはライナー3004が外力により動いた際の防振ゴム3011の変形を防止するために設けられており、必要に応じて使用・不使用を選択すればよい。

20 つぎに、本実施例の作用および効果を説明する。

まず、真空ポンプ3018を作動させて、傾斜磁場コイル3002を囲むライナー3004とクライオスタット3001と真空蓋3003の間の密閉空間の排気を行い、密閉空間内に所定値の真空状態をつくる。真空状態の前記密閉空間は振動(すなわち騒音)の空気伝搬を遮断するために設けられており、その真空度は上述のクライオスタット3001内の真空度に比べて低くてもよい。例えば、数Torr程度でも良い。なお、以下に1気圧の空気と比較した空気伝搬の遮音効果の式を示す。

$$I = 20 \times \log_{10} (P/760) \text{ [dB]}$$

ここで、Iは遮音率、Pは真空度である。たとえば、密閉空間の真空度を略

0.7Torr とすると、1気圧の空気による遮音に比べ約 60dB の遮音効果を得ることができる。

また、クライオスタート 3001 内に設けられた静磁場コイルに流れる電流により撮影空間 S に静磁場が生成されており、天板 3009 上に横になった被検体 5 3008 が撮影空間 S 内に挿入される。このとき天板 3009 は、ライナー 3004 に設けられた図示しない天板レールによりガイド・支持されても良いし、ライナー 3004 には、直接被検体 3008 の体重がかからないようなその他の支持構造であってもよい。

ついで R F コイルの設置、スライス面の位置決めなどの必要な準備がなされた 10 後、診断が開始される。つまり、制御処理部から所望のパルスシーケンスに応じて制御指令がガントリの各要素に出されて、被検体 3008 からの MR 信号が受信される。この MR 信号に基づいて画像データが再構成される。

このパルスシーケンスに基づく駆動状態において、傾斜磁場コイル 3002 には急峻に立ち上がりまた立ち下がるパルス電流が供給される。とくに、パルスシーケンスが高速撮影用のシーケンスである場合、かかるパルス電流の極性が高速 15 に反転される。傾斜磁場コイル 3002 は強い静磁場中に置かれているから、これに高速で変化するパルス電流が流れる度に電磁気力が発生し、この電磁気力により振動が発生する。電磁気力の大きさは x コイル、y コイル、z コイルの位置 20 などに応じて複雑に異なるから、傾斜磁場コイル 3002 は通常複雑なモードで振動する。

傾斜磁場コイル 3002 が振動しても、本実施例の場合傾斜磁場コイル 3002 は真空中に置かれているので、その周りの空気が振動するということがない。つまり、図 7B 中の矢印 A1 で示すような振動の空気伝搬が確実に排除、抑制され、外部に伝わる振動が著しく軽減される。

25 これに対して、傾斜磁場コイル 3002 の振動は、支持ブラケット 3005 を介して固体伝搬し、外部に漏れようとする。しかしながら、この固体伝搬に対しても上述したように種々の振動吸収を行っているので、漏れ出る振動は非常に小さくなる。

まず、傾斜磁場コイル 3002 を下端から支持している Z 軸方向両端の支持ブ

ラケット3005に設けられた防振ゴム3006により振動が吸収されるため、クライオスタット3001に設けられた磁石インターフェース3007への振動の伝達が抑制される。防振ゴム3006で取り切れなかつた振動のみが磁石インターフェース3007に伝搬する。

5 磁石インターフェース3007に伝搬された振動は、図8中の矢印A2に示されるように、磁石インターフェース3007にボルト3020で取り付けられた真空蓋3003に導かれる。真空蓋3003に導かれた振動は、つぎに図9中の矢印A3に示されるようにライナー3004に伝搬しようとするが、真空蓋3003とライナー3004の間には防振ゴム3011が設けられているため、振動の固定伝搬が抑制され、真空蓋3003からライナー3004に伝わる振動が著しく軽減される。

また、防振ゴム3011は、上述のように、外気圧と真空圧の圧力差によって真空空間は密閉され、また、真空蓋3003とライナー3004でY方向に挟まれる構造により、ボルト等の接続具を使用しなくても、ライナー3004を保持することができる。

一般的に、接続具を用いた場合には、接続具を介して固定振動が伝搬されるが、本実施例では、真空蓋3003とライナー3004の接続には防振ゴム以外の接続具を用いていないため、固定伝搬を著しく減少させることができる。

本実施例では、

20 (1) とくに振動の大きい傾斜磁場コイル3002から発生する振動（すなわち騒音）の空気伝搬を真空空間の生成により大幅に遮断し、
(2) かかる振動を傾斜磁場コイル3002に設けられた支持ブラケット3005と磁石インターフェース3007の間に備えられた防振ゴム3006で極力除去し、
(3) 残った振動も真空蓋3003とライナー3004の間に備えられた防振ゴム3011で確実に除去する。

これにより、ガントリ3019全体の騒音はもちろん、特に、被検体308の近くにあるライナー3004の振動による騒音を抑えることができ、高速パルスシーケンスを使う場合であっても、傾斜磁場コイル3002の振動に起因した振

動および騒音を格段に低減させることができ、特に、ライナー3004の内側にいる被検体3008に与える不安感や不快感を良好に解消することができる。

また、傾斜磁場コイル3002を支えるブラケット3005、防振ゴム3006は天板3009の下部にのみ存在し、真空蓋3003の上部が撮影空間S側に

5 切り込んだ形となって外部に広い空間を作っているため、被検体に開放感を与えている。

次に、本実施例の第1の変形例について、図面を参照して説明する。なお、第3実施例と同一構成のものは同一番号を付して詳しい説明は省略する。

本変形例は、磁石インターフェース3007と真空蓋3003の接続部分の変形例であり、拡大図として、図10に示されている。

第3実施例では、図8に示すように、磁石インターフェース3007と真空蓋3003が接している構造であるが、本変形例では、磁石インターフェース3007と真空蓋3003の間に密閉用防振ゴム3012を設ける。密閉用防振ゴム3012は磁石インターフェース3007と真空蓋3003の間を密閉する役割を果たしている。密閉用防振ゴム3012は外気圧と真空圧の圧力差によって磁石インターフェース3007と真空蓋3003の間に強く挟まれ固定される。

またさらに、密閉用防振ゴム3012には、凸部3012aが設けられている。

凸部3012aは、防振ゴムの真空蓋3003側および磁石インターフェース3007側のそれぞれ対向する位置に設けられている。凸部3012aは、密閉用防振ゴム3012の周回に沿うような略環状の形状であり、真空蓋3003と磁石インターフェース3007を密閉することができ、真空度を高めるために使用されている。密閉用防振ゴム3012は撮影空間Sを周回するような略環状のものである。

密閉用防振ゴム3012を設けた場合、図10中の矢印A4に示されるように、振動は、磁石インターフェース3007から真空蓋3003に伝搬しようとするが、密閉用防振ゴム3012により、振動の固定伝搬が抑制される。

また、ワッシャー3021と真空蓋3003の間にワッシャー型の防振ゴム3014を設けても良い。防振ゴム3014を設けた場合、図中の矢印A5に示されるように、振動は、磁石インターフェース3007からボルト3020、ワッ

シャー3021を介して真空蓋3003に伝搬しようとするが、防振ゴム3014により、振動の固定伝搬が抑制される。

なお、防振ゴム3014を使用すると、防振効果は大きくなるが、必要に応じて使用・不使用を決定すれば良い。

5 本変形例では、真空蓋3003と磁石インターフェース3007間に密閉用防振ゴム3012を用いることにより、第3実施例の効果に加え、Oリングを用いずに、真空蓋3003と磁石インターフェース3007を密閉することができる
と同時に、磁石インターフェース3007から真空蓋3003への固定振動を抑制することができ、振動による騒音をさらに抑えることができる。

10 次に、第3実施例の第2変形例について、図面を参照して説明する。なお、第3実施例および第1の変形例と同一構成のものは同一番号を付して詳しい説明は省略する。

15 本変形例は、磁石インターフェース3007と真空蓋3003の接続部分の変形例であり、拡大図として、図11に示されている。本変形例では、第1の変形例における磁石インターフェース3007のボルト3020が取り付けられた部分よりもさらに外周側に、ボルト3022とワッシャー3023により、X方向から見た断面は略L字型であるブラケット3015を設ける。ブラケット3015は、Z方向から見た場合、真空蓋3003の下側にあり真空蓋3003の重量を支えている。ブラケット3015と真空蓋3003の間には支持用防振ゴム3016が設けられている。

20 真空蓋3003の重量は、真空蓋3003の下部に設けられた支持用防振ゴム3016を介して、ブラケット3015により充分支えることができる。ブラケット3015および支持用防振ゴム3016は真空蓋3003の周囲全体に配置する必要はなく、例えば図7A、7Bの傾斜磁場コイル3002の重量を支えるために用いた防振ゴム3006のように、真空蓋3003の下部の2ヶ所（Z方向に2ヶ所で合計4ヶ所）に設けられていればよい。

25 また、図中の矢印A6に示されるように、振動はブラケット3015から真空蓋3003に伝搬しようとするが、支持用防振ゴム3016により振動の伝搬が抑制される。

支持用防振ゴム 3016 とブラケット 3015 の間には図示していない支持用防振ゴム 3016 の高さ調整機能があり、装置を組み立てるときには真空蓋 3003 を支持用防振ゴム 3016 に載せ、高さ調整機能により真空蓋 3003 が中心に位置するように調整し、ボルト 3020 で軽く締め付けてから真空に引くことにより、密閉用防振ゴム 3012 が真空蓋 3003 と磁石インターフェース 3007 により両側からしっかりと押しつけられ密閉される。

支持用防振ゴム 3016 は数 100 kg 以上の傾斜磁場コイル 3002 の重量を支えるため比較的剛性の大きなゴムを必要とするが、部分的な支持により接触面積を小さくして振動の伝搬を効果的に軽減することができ、真空蓋 3003 の全周に配置され接触面積の大きな密閉用防振ゴム 3012 は、単位面積当たりに加わる力が支持用防振ゴム 3016 ほど大きくないので、比較的剛性の小さな柔らかいゴムを用い振動の伝搬を効果的に抑制できる。

本変形例では、第 3 実施例および第 1 変形例の効果に加え、真空蓋 3003 に重い重量が加わった場合でも、真空蓋 3003 を確実に支持した状態で、第 3 実施例および第 1 の変形例と同様、振動を抑制することができる。

次に、第 3 実施例の第 3 変形例について、図面を参照して説明する。なお、第 3 実施例と同一構成のものは同一番号を付して詳しい説明は省略する。

本変形例は、真空蓋 3003 とライナー 3004 の接続部分の変形例であり、拡大図として、図 12 に示されている。第 3 実施例では、密閉機能および支持機能の両機能をもつ防振ゴム 3011 を用いていたのに対し、ライナー 3004 の重量を支えるための支持用防振ゴム 3025 と密閉するための密閉用防振ゴム 3024 とが別に用いられる。支持用防振ゴム 3025 はライナー 3004 の周囲全体に配置する必要はなく、たとえば図 7A, 7B の傾斜磁場コイル 3002 の重量を支えるために用いた防振ゴム 3006 のように、ライナー 3004 の下部の 2ヶ所 (Z 方向に 2ヶ所で合計 4ヶ所) に設けられていればよい。

一方、密閉用防振ゴム 3024 は略円環状に撮影空間 S を周回するように設けられ、大気圧と真空圧の圧力差によって真空蓋 3003 とライナー 3004 に強く挟まれ固定される。さらに、真空蓋 3003 とライナー 3004 の密閉を確実にして真空度を高めるために、密閉用防振ゴム 3024 の真空蓋 3003 側およ

びライナー 3004 側のそれぞれ対向する位置には凸部 3024a を設けてもよい。

本変形例では、第3実施例の効果に加え、接触面積の小さな支持用防振ゴム 3025 には比較的剛性の高いゴムを使用し、円環状の接触面積の大きな密閉用防振ゴム 3024 には比較的剛性の小さなゴムを用いることにより、剛性の高いフランジを設けなくても、防振ゴム 3011 の変形を防止することができ、また、支持用防振ゴム 3025 および密閉用防振ゴム 3024 の剛性を調整することにより、振動の伝搬に対し効果的な抑制が可能である。

次に、第3実施例の第4変形例について、図面を参照して説明する。なお、第3実施例と同一構成のものは同一番号を付して詳しい説明は省略する。

本変形例は、傾斜磁場コイル 3002 とクライオスタッフ 3001 との接続部分の変形例であり、拡大図として、図13に示されている。なお、図13では、磁石インターフェース 3007 と真空蓋 3003 の接続部分は、上述の第2の変形例が記載されている。

本変形例では、傾斜磁場コイル 3002 の下部で Z 方向の両端に各 1 個または 2 個あるいはそれ以上の複数の防振ゴム 3026 が配置され、防振ゴム 3026 は傾斜磁場コイル 3002 の重量で押しつけられてクライオスタッフ 3001 に接続されている。クライオスタッフ 3001 の防振ゴム 3026 が接触する部分およびその周囲は、傾斜磁場コイルの重量を支えかつ防振ゴム 3026 を伝搬する振動を押さえるに十分な剛性を持った構造に作られている。

本変形例では、第3実施例の効果に加え、第3実施例で用いられている支持プラケット 3005 を用いることなく、実施することができ、非常に単純でコストも安価になる利点がある。

なお、上述の実施例および変形例では、防振機能に加え密封機能を有する防振部材にはゴム系の材料が適しているため、防振部材として一例である防振ゴムを用いて説明したが、振動を抑制する部材であればゴム系の材料に限定されない。

また、既存の磁気共鳴イメージング装置における静磁場コイルをガントリに残し、傾斜磁場コイル 3002、真空蓋 3003、ライナー 3004 を含む装置を傾斜磁場ユニットとし、取り付けることも可能である。この場合には、既存の磁

気共鳴イメージング装置における静磁場コイルを利用することができる。

また、なお、上述の第3実施例および4つの変形例では、前記傾斜磁場発生手段の周囲に形成された真空状態を保持するための密閉容器に、環状の真空蓋3003を用いたが、真空状態にできる構成であれば、特に形状等は限定されない。

5 (第4-1実施例)

第4-1実施例を図14～図17を参照して説明する。図14に、MRI装置のガントリ4001を示す。このガントリ4001は、傾斜磁場コイルを密閉容器内に封入して配置した、いわゆる静音化タイプに構成されている。

ガントリ4001は、全体に略円筒状に形成され、そのボアが診断用空間Sを成し、診断時には図示しない寝台天板により被検体Pがその空間内に挿入されるようになっている。ここで、ガントリの長軸方向を直交座標系のZ軸とする。

このガントリ4001の径方向(XY面方向)の一番外側には、円筒状の超伝導磁石4011が床に配置されている。この磁石4011は、図示しない静磁場電源に接続されており、その診断用空間Sに静磁場を発生させる。なお、この超伝導磁石4011の少なくとも径方向の大きさは、後述する密閉容器による静音化機構を備えていない装置のものと同じであるとする。

超伝導磁石4011の内周側には、その磁石に支持させる状態で、密閉容器4012が配置されている。この容器4012は、その全体が外周側壁体4012A、内周側壁体4012B、及び側面体4012Cで囲まれた内部空間ISを有する円筒状に形成され、その軸方向をZ軸方向に一致させて配置されている。内部空間ISの径方向の厚みは後述する傾斜磁場コイルのアセンブリをその壁体に接触させることなく(支持部は除く)、封入できる適宜な値に設定されている。この容器4012は図示しない真空ポンプに結合されており、診断時には大気圧よりも実質的に低い気圧(真空)に調整される。

この密閉容器4012の内部空間ISには、図示の如く、傾斜磁場コイル4013のアセンブリが配置されている。この傾斜磁場コイル4013は、ここでは能動遮蔽型傾斜磁場コイル(ASGC)を成す。具体的には、このコイルアセンブリは図16に示すように円筒状の樹脂製スプール4013A上にX、Y及びZチャンネルの夫々の1次コイル及び2次コイルを層状に絶縁状態で巻装したもの

で（これらの層状の巻装コイルを代表的に符号 4013B で示す）、その全体も略円筒状のアセンブリに成形されている。各チャンネルの 1 次コイル及び 2 次コイルはチャンネル毎に傾斜磁場電源（図示せず）に接続されている。この能動遮蔽型傾斜磁場コイルにより、そのコイル駆動時の磁場を径方向の外界には殆ど漏らさないようになっている。

この傾斜磁場コイル 4013 のアセンブリは、図 14 及び 15 に示す如く、かかる内部空間 IS において、弾性体 4014 を介挿させた複数の支持部 4015 によって外周側壁体 4012A に支持されている。この傾斜磁場コイル 4013 への給電線（図示せず）は密閉容器 4012 の一部を気密に貫通させて配置され

ている。

さらに、容器 4012 の内部空間 IS において、シールド 4016 が傾斜磁場コイル 4013 のアセンブリ内周面に貼りつけられている。このシールドは一例として、35 μ m 程度の銅箔から成る。シールド 4016 は、本実施例では、容器 4012 を気密に貫通させたアース線（図示せず）に接続され、容器外でアースされる。なお、シールド 4016 はアースしない構成も採ることができ、シールド 4016 と WB コイル 4017 に接続した線の夫々を容器外部に気密に引き出し、極力遠方の位置で相互に接続する同電位構造にしてもよい。

このシールド 4016 は、傾斜磁場コイル 4013 と後述する WB コイルとの間の電気的、磁気的な相互干渉を抑制するように機能する。このシールド 4016 の配置位置が本実施例の特徴の 1 つを成している。

密閉容器 4012 の内周側壁体 4012B の外側、すなわち診断用空間 S には、被検体 P を囲むようにして RF コイルとしての WB コイル（全身用 RF コイル）4017 が配置されている。この WB コイル 4017 はここでは送受兼用タイプの RF コイルである。

本実施例のガントリ 4001 は以上のように構成されている。このため、シールド 4016 によって、WB コイル 4017 と傾斜磁場コイル 4013 との間の磁気的、電気的な相互干渉は従来と同様に好適に排除又は抑制される。

また、傾斜磁場コイル 4013 のアセンブリを実質的な真空状態にした容器 4012 内に封入していることから、診断時に傾斜磁場コイル 4013 からその外

界構成物、とくには磁石 4011 への空気伝播量が著しく抑制される。このため、傾斜磁場コイル 13 が振動源となって磁石 4011 が一体に振動することに因る音（ノイズ）の発生が大幅に抑制される。

さらに、シールド 4016 の取付け位置が WB コイル 4017 から見て、物理

5 的な許容範囲の最も遠い位置、すなわち傾斜磁場コイル 4013 の内周面である（このときの距離は図 8 の半径 r_1 となる）。したがって、シールド 4016 の取付け位置は、WB コイル 4017 からみた場合、従来技術から想定された最良の取り付け位置、すなわち容器 4012 の内周側壁体 4012B の外側（このときの距離は図 8 中の半径 r_2 となる）と比べて、さらに距離「 $r_1 - r_2$ 」の分だけ遠くなる。この結果、WB コイルの効率が良好に維持され又は向上する。

この理由を詳述する。前述した文献「Magnetic Resonance in Medicine 19, 180-185 (1991)」からも理解できるように、シールド 4016 を WB コイル 4017 の外側に置くことは、図 17 に示す如く、 $R_m = R_{sh}^2 / R_{wb}$ (WB コイルの内半径 = R_{wb} 、シールドの内半径 = R_{sh}) で決まる位置に、WB コイルが作る磁場とは反対向きに仮想的な鏡像コイルを置いたのと等価になる。被検体 P に到達する磁場は、この差分「WB コイルがつくる磁場 - 鏡像コイルのつくる高調波磁場」となる。一方、個々のコイルが中心点につくる磁場強度は約「1 / コイルの内半径」に比例する。

このため、シールドを WB コイルから極力離して配置すると、仮想的な鏡像コイルが中心位置につくる磁場を弱めることができ、その結果、差分「WB コイルがつくる磁場 - 鏡像コイルのつくる高調波磁場」が強められる。したがって、WB コイルが被検体に実質的につくる磁場（=「WB コイルがつくる磁場 - 鏡像コイルのつくる高調波磁場」）は増加する。これにより、WB コイル 4017 の RF 磁場送信効率及び MR 信号受信効率を、静音化機構を備えていないタイプの従来装置に比べても遜色の無い値に維持でき、又は、それ以上に向上させができる。

なお、参考までに、従来では、図 25 に示すように、共鳴周波数に対して損失が十分に小さいシールド（銅箔などのシールド体）を配置する手法が採られている（例えば米国特許第 5, 367, 261 号参照）。このシールドは通常、一

スされる。この従来構造と比較すれば本実施例はより明確になろう。

なお、本実施例に係るシールド4016の取付け位置は上述した容器4012内における傾斜磁場コイル4012のアセンブリ内周面に限定されるものではない。例えば、シールド4016を容器4012の内周側壁体4012Bの内側面と傾斜磁場コイル4012のアセンブリ内周面との間の空間であれば、任意の位置(図15の半径差 r_d 参照)であってもよい。一例として、シールド4016が内周側壁体4012Bの内側面に取付けられていたとしても、その壁体4012Bの厚さ分だけ少なくともWBコイル4017の効率改善がなされる。

(第4-1実施例)

第4-1実施例を図19を参照して説明する。本実施例に係るMRI装置のコイル構造は、WBコイル以外のRFコイルを用いるときにそのWBコイルを共振系から外す、所謂「デチューン」機構に関する。なお、この実施例においては、シールドは密閉容器を気密に貫通させたアース線を介してアースされているものとする。

比較のために、図18に従来のデチューン機構を示すと、WBコイルとシールドとを電気的に接続し、例えばPINダイオードなどのスイッチSWをその両者間に挿入し、このスイッチSWを介してWBコイルの何箇所かをシールドに接続する。シールドはアースされているので、結局、WBコイルもアースされる。これにより、共振回路の共振周波数が変化し、デチューン状態となる。

この構成をそのまま本発明に係るコイル構造に適用すると、シールドが容器内に配置されるため、WBコイルとシールドを電気的に接続するための配線の引き回しが複雑化し且つ多くなる。とくに、これらの配線が容器を貫通してシールドと接続されることになるので、その気密性を保つための部品が多数個又は大形のものが必要になって、部品コストも高くなり且つ構造も複雑化するとともに、故障などに因って真空度を低下させる確率も高くなる。

そこで、この実施例では、図19に示す如く、WBコイル4017に直列にスイッチSWを介し、このスイッチSWを外部の制御回路からの指令により開放させる。スイッチSWは例えばPINダイオードである。このスイッチSWを開放することにより、WBコイル4017の共振周波数が変更になり、前述したデ

チューン機能が発揮される。

このとき、図19からも分かるように、WBコイル4017をシールド4016（アース）に接続する必要はない。このため、その接続線を密閉容器4012に貫通させるといった配線構造は一切必要ない。したがって、上述したような容器構造の複雑化、気密性保持に対する信頼性の低下、および部品コスト増など事態に至らなくても済む。

（第4－3実施例）

第4－3実施例を図20、図21を参照して説明する。本実施例のコイル構造は、シールドを貼り付けて設置するときの空気抜き構造に関する。

10 シールド4016としての、例えば同箇は粘着剤で、密閉容器4012内にて、例えば傾斜磁場コイル4017のアセンブリ内周面に貼り付けられる。この張付け時に若干の気泡がシールド材とコイル内面との間に発生することは回避できない。静音を目的として、密閉容器4012内の気圧を下げると、かかる気泡は膨張して、シールド材が変形したり、剥がれたりする恐れがある。

15 これを防止するには、粘着材ではなく、ゲル状の接着剤を用いることができ、気泡を減少させることができる。

本実施例では、シールド4016を接着剤で貼り付けることとし、気泡の発生対策としては、シールド材に気泡内の空気を抜くための穴及び／又はスリットを設ける。図20は、シールド4016に複数の穴4021を開けた例を示し、図21は、シールド4016に複数のスリット4022を開けた例を示す。当然に穴4021とスリット4022を組み合わせて設けてもよい。穴やスリットの形状は任意である。この穴やスリットの大きさは、シールドの導電体が在る部分に対しては電気的に無視できるほど小さく開け、導電体が無い部分に対しては気泡抜きを重視して十分に大きく開ける。

25 この結果、容器4012内を減圧するときに、シールド4016と傾斜磁場コイル4017内面との間に発生し存在する気泡も穴4021やスリット4022を介して一緒に抜ける。このため、接着剤だけを用いたときの前述したシールドの剥がれや変形を防止することができる。

なお、この実施例の目的を達成するには、シールド4016そのものを繊維状

或は網状の導電性材料で形成してもよい。

(第4-4実施例)

第4-4実施例を図22、図23を参照して説明する。本実施例は、取付け時や保守時のシールドとWBコイルとの位置合わせに関する。シールドとWBコイルは、その共鳴周波数を一致させることが望ましい。加えて、感度均一性を確保するには、シールドとWBコイルとを1mm以下の精度で同軸状に配置することが望ましい。

しかしながら、本実施例に係るコイル構造によれば、WBコイル4017は容器4012の外部に、シールドコイル4016は容器4012の内部に配置するを基本構成としているため、取付け時や保守時における両者の位置合わせが非常に難しい。そこで、この実施例では、そのような位置合わせを容易にするアライメント調整手段を設ける。

具体的には、図21に示す如く、WBコイル4017と容器4012の内周側内壁4012Bとに小さな穴4017H、4012Hが開けられる。そして、容器4012内の気圧を下げる前に、図23に示す如く、ゲージ4023を穴4017H、4012Hに差し込んでWBコイル4017とシールド4016との間の距離を測りながらWBコイル4017の容器半径方向の位置を決めたり、調整する。ゲージ4023には目盛が付してある。WBコイル4017の位置決め(位置調整)を行った後は、図24に示すように、内周側内壁4012Bの穴4012Hに栓4024をし、容器4012内の気圧を所望値まで下げる。このとき、栓4024は容器4012の内部の向かって引かれるので、抜け落ちることはない。

この位置決め(位置調整)により、シールド4016とWBコイル4017とを1mm以下の精度で同軸状に配置することができ、感度の均一性を確保することができる。

なお、上述の実施例では、傾斜磁場コイル4013は容器4012内に在って容器に支持させ、且つ、この容器4012は静磁場磁石4011に支持させる構造としたが、これに代えて、例えば特開平10-118043号(特願平8-274609号)記載の支持構造を探るようにしてよい。つまり、傾斜磁場コイ

5 ル4013は容器4012内に配置し、且つ、この静磁場磁石4011とは別個の支持手段（但し、弾性体などを介挿させた支持手段が望ましい）で床上（床上に設けたビームなどの基礎部分を含む）に支持させるものである。このとき、傾斜磁場コイル4013の支持手段は容器4012の例えれば側壁4012Cを貫通して延設されるので、支持手段と容器4012との間の気密性を保持する部材が配置されることは勿論である。

10 この結果、傾斜磁場コイル4013から空気伝播により静磁場磁石4011に至る振動をより一層確実に減らすことができるとともに、傾斜磁場コイル4013と静磁場磁石4011との支持手段が異なり且つそれらの位置が床上で離れている分、傾斜磁場コイル4013から構造体（両方の支持手段及び床）を伝わつて静磁場磁石4011に至る振動成分もより少なくなる。したがって、この別個の支持構造によって、より確実な静音化が図られ、且つ、前述したコイル構造に伴う効果も合わせて得ることができる。

15 ところで、上述の基本構成を更に変形したものとして以下の例を挙げることができる。その1つは、WBコイル4017を容器4012内に配置させる構成であり、これにより、シールドを零電位としてWBコイルとの間で容易に電気的接続を探ることができる。別の例は、容器4012の内周側壁体4012BをWBコイル4017の巻き枠として用いる構成である。WBコイルは前述の如く、ガントリの一番内側に位置させたいので、このように内周側壁体をコイル巻き枠として用いることは好都合である。

（第5-1実施例）

20 図26は本発明の第5-1実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の概略構成を示すブロック図である。ガントリ5050内には静磁場磁石5052、X軸・Y軸・Z軸の傾斜磁場コイル5053、及びRFコイル5001が設けられる。静磁場磁石5052は例えば超電導コイル、または常電導コイルを用いて構成される。X軸・Y軸・Z軸傾斜磁場コイル5053はX軸傾斜磁場G_x、Y軸傾斜磁場G_y、Z軸傾斜磁場G_zを発生するためのコイルである。RFコイル5001はスライスを選択するための選択励起パルスとしての高周波パルスを発生し、および磁気共鳴により発生した磁気共鳴信号（MR信号）を検出するために使用

される。寝台 5054 の天板上に載置された被検体 P はガントリ 5050 内のイメージング可能領域（イメージング用磁場が形成される球状の領域であり、この領域内でのみ診断が可能となる）に挿入される。

5 静磁場磁石 5052 は静磁場制御装置 5051 により駆動される。RF コイル 5001 は RF 送信時には送信器 5056 により駆動され、かつ磁気共鳴信号の検出時には受信器 5055 に結合される。X 軸・Y 軸・Z 軸傾斜磁場コイル 5053 は X 軸傾斜磁場電源 5057、Y 軸傾斜磁場電源 5058、Z 軸傾斜磁場電源 5059 により駆動される。

10 X 軸傾斜磁場電源 5057、Y 軸傾斜磁場電源 5058、Z 軸傾斜磁場電源 5059、送信器 5056 はシーケンサ 5060 により駆動され、X 軸傾斜磁場 G_x、Y 軸傾斜磁場 G_y、Z 軸傾斜磁場 G_z、高周波（RF）パルスを、所定のパルスシーケンスに従って発生する。この場合、X 軸傾斜磁場 G_x、Y 軸傾斜磁場 G_y、Z 軸傾斜磁場 G_z は主として、例えば位相エンコード用傾斜磁場 G_e、読み出し用傾斜磁場 G_r、スライス用傾斜磁場 G_s としてそれぞれ使用される。コンピュータシステム 5061 はシーケンサ 5060 を駆動制御するとともに、受信器 5055 により受信される磁気共鳴信号を取り込んで所定の信号処理を施すことにより、被検体の断層像を生成し、これを表示部 5062 に表示する。

20 図 27 は、第 5-1 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置に用いられる RF コイルを示し、図 28 は RF コイルの縦断面図である。図 27 から分かるように本実施例の RF コイル 5001 は、大別すると、分離可能な上部構造体 U と下部構造体 B とから構成され、これらは磁気共鳴イメージング装置の被検体挿入空間（ボア）内に配置される。RF コイルの使用時には、下部構造体 B の上に被検体の撮影対象部位（頭部などの被検体部位若しくは全身）を乗せ、この上に上部構造体 U を接合させる。これにより撮影対象部位は上部構造体 U と下部構造体 B とが形成する円筒空間内に納められる。この状態で RF コイル 5001 が送信器 5055 により駆動され、磁気共鳴イメージングのための RF 送信及び受信が行われる。

25 RF コイル 5001 の上部構造体 U は、その内部にスプール 5002、導体パターン 5003、制振材 5007、吸音材 5008 を有し、これらはカバー 50

04により覆われている。また、下部構造体Bは図28から分かるように、上部構造体Uと対向するようにスプール5002、導体パターン5003、制振材5007、吸音材5008を有しており、これらはカバー5005により覆われている。また、下部構造体Bには、上部構造体Uとの合わせ目に緩衝材5006が設けられている。また下部構造体Bの底部の端には、RFコイル5001とともに共振回路を構成するキャパシタを含む電気回路ユニット5010が配置されている。

傾斜磁場の印加領域内に配置されるRFコイル5001は、その導体パターン5003に渦電流が発生することが問題となる。これは、傾斜磁場の高強度化および高速スイッチングを伴う高速イメージングにおいて顕著となる。渦電流が静磁場内を流れることにより導体パターン5003にはローレンツ力が発生し、激しく振動する。そこで本発明に従い、RFコイル5001からの騒音を主として導体パターン5003の振動に依るものとし、これを低減するべく以下に説明するような対策を施す。なお、電気回路ユニット5010の導体部にも導体パターン5003と同様にローレンツ力により振動し騒音が発生する場合があるが、本実施例ではこれについても対処する。

(1) スプールとカバーとの間の防音構造

図29は、RFコイル5001を構成する導体パターン5003近傍の構造の一部を示す断面図である。スプール5002は、例えば繊維強化プラスチック(FRP)等の絶縁巻き枠である。このスプール5002の外側表面に例えば薄板状の銅線(Cu)からなる導体パターン5003が貼り付けられている。スプール5002及び導体パターン5003は、図27及び図28からも分かるように円筒の長手方向に沿って設けられる。

そして、図29に示すように、導体パターン5003を含むスプール5002と外側のカバー5004aとの間に防音材5008aを介在させる。また、スプール5002と内側のカバー5004aとの間に防音材5008bを介在させる。このような構造とすることにより、導体パターン5003が振動して騒音を発したとしても、これが防音材5008a、5008bにより吸収され、カバー5004a、5004bを経て外部に漏れることがない。よって、カバー5004

a, 5004b内における適切な防音を図ることができ、結果として被検体挿入空間内の騒音を低減できる。なお、防音材5008a, 5008bの素材としては、例えば発泡材のように音を吸収可能なものであればどのような素材としても良い。

5 (2) カバーの合わせ目における制振構造

図30はカバーを構成する部品間の繋ぎ目の構造を示す断面図である。カバー表面には、これを構成するカバーパーツ5012と他のカバーパーツ5013との間に、同図に示すような合わせ目を有している（図27及び図28において合わせ目は不図示）。この合わせ目において、カバーパーツ5012, 5013間を緩衝材（クッション材、振動吸収素材）5014を介して接続する構造とする。また、図27及び図28に示されるように、上部構造体Uのカバー5004と下部構造体Bのカバー5005との合わせ目に、緩衝材5006を介在させる構造とする。

このような構造とすることにより、カバーパーツ5012, 5013間の合わせ目における振動を緩衝材5014により制振でき、上部構造体Uのカバー5004と下部構造体Bのカバー5005との合わせ目における振動を緩衝材5006により制振できる。したがって、これら合わせ目の位置において発生する振動による騒音（ビビリ音という）を低減できる。結果として被検体挿入空間内の騒音を低減できる。

6 (3) カバー内全体の防音構造

カバー内の防音手段は、スプールとカバーとの間のみならず、任意の適切な箇所に講じることが好ましい。例えば、図31に示すように、電気回路ユニット5010等の近傍の空間に防音材5008cを配置する。電気回路ユニット5010の導体部には導体パターン5003と同様にローレンツ力により振動し、騒音が発生する場合があるが、防音材5008cによればこの場合の騒音を適切に低減できる。

7 (4) カバー内全体の制振構造

また、図28に示すように、カバー5004, 5005内の壁面のほぼ全面にわたって制振材5007を設ける構造とすれば、騒音の元となる振動を確実に低減できるようになり、好ましい。なお、導体パターン5003等の振動源に対する

る局所的で直接的な制振及び防音対策のみで足りる場合は、製造コスト等の観点から、カバー内全面への制振対策や上記（3）のような防音対策は見合わせることも一考である。言い替えれば、上記4つの防音及び制振構造は適宜に組み合わせて実施してもよい。

5 以上説明したように、第5-1実施例は、RFコイル5001からの騒音を導体パターン5003の振動に依るものとし、これを低減するための対策として（1）スプールとカバーとの間の防音構造、（2）カバーの合わせ目における制振構造、（3）カバー内全体の防音構造、および（4）カバー内全体の制振構造を適宜に組み合わせて講じるものである。

10 したがって、傾斜磁場コイルを密閉容器に収容するなどの静音化機構による騒音低減効果を有効に発揮させ、併せてRFコイル5001からの騒音を低減でき、被検体挿入空間内の静肅性を極めて向上できるようになる。

（第5-2実施例）

15 第5-2実施例は、全身用のRFコイルに関する。このRFコイルは被検体挿入空間（例えば円筒である）の壁面に埋め込まれる構成となっており、円筒中心軸に対して外側のカバーを備えない点が第1実施例のものとは異なっている。

20 図32は、第5-2実施例に係るRFコイルの全体構造を示す断面図、図33は、その一部分を拡大して示す断面図である。図32において、スプール5002は、第5-1実施例と同様に例えば繊維強化プラスチック（FRP）からなる絶縁巻き枠からなる。このスプール5002の外側表面に例えば薄板状の銅線（Cu）からなる導体パターン5003が貼り付けられている。スプール5002及び導体パターン5003は、円筒の長手方向に沿って設けられる。また、スプール5002は被検体挿入空間の壁面に固定される。

25 図33に示すように、5021は緩衝材（クッション材、振動吸収素材）であり、5020は内側カバーである。緩衝材5021は、この内側カバー5020を被検体挿入空間（ボア）の壁面5030に取り付けた際のスプール5002との間隔よりも若干大きな厚さを有している。これにより、内側カバー5020を被検体挿入空間（ボア）の壁面5030に取り付ける際には、この内側カバー5020からの力により緩衝材5021が変形しつつスプール5002の面に適度

に押さえ付けられる。よってこの緩衝材 5021 は、スプール 5002 の導体パターン 5003 が上述したローレンツ力等により振動しても、これを吸収する。

したがって、内側カバー 5020 とスプール 5002 の内周側における適切な防音が図られることになる。また、スプール 5002 の外周側には、防音材 5008 が設けられているので、仮に導体パターン 5003 が振動して騒音が発生しても、これが防音材 5008 により吸収されるので、防音効果をより高めることができる。

以上説明した第 5-2 実施例の RF コイルによれば、第 5-1 実施例と同様に、傾斜磁場コイルを密閉容器に収容するなどの静音化機構による騒音低減効果を有効に発揮させ、併せて RF コイル 5001 からの騒音を低減でき、被検体挿入空間内の静肅性を極めて向上できるようになる。また、第 5-2 実施例は、緩衝材 5021 とスプール 5002 との接触面積が大きいほどより効果が高くなる。よって、本実施例は、全身用の RF コイルのような比較的大型の RF コイルに好適である。

15 (第 6 実施例)

図 34 は第 6 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図である。6001 は、超伝導磁石のクライオスタットであり、この中に極低温で超電導状態になる超電導コイルが収まっている。この超電導コイルは撮影領域に一様な静磁場を与えるものである。通常の MR 撮影において必要とされる静磁場強度は 0.1 ~ 1 テスラ程度である。静磁場の空間的な均一性は数 10 ppm 以下であることが要求され、撮影領域は直径が 50 cm 程度の球状である。

6002 は、傾斜磁場コイルであり、クライオスタット 6001 の内筒を構成部品の一部とする密閉容器 6003 の中に収容されている。傾斜磁場コイル 6002 は任意の撮影断面を決めたり、被検体からの RF 信号に位置情報を付加するなどの目的で、主磁場に線形の傾斜を与えるためのものである。一般に、傾斜磁場コイル 6002 は直交する x, y, z の各軸方向にそれぞれ傾斜した磁場を作る独立した 3 組のコイルセット Gx, Gy, Gz より構成される。例えば本実施例の傾斜磁場コイル 6002 は、能動遮蔽型傾斜磁場コイル (Actively Shield Gradient Coil : ASGC) とする。能動遮蔽型傾斜磁場コイルは傾斜磁場を発

生する主コイルと、この主コイルの外側に設けられ、主コイルから発生された傾斜磁場が傾斜磁場コイルの外側へ漏洩することを防ぐように逆向きの磁場を発生するアクティブシールドコイルとにより構成される。

密閉容器 6003 内に納められている傾斜磁場コイル 6002 は、密閉容器 6

5 003 の内側の内ケーブル 6008 と外ケーブル 6060 により外部電源に接続される。内ケーブル 6008 と外ケーブル 6060 とは、密閉容器 6003 に取り付けられた連結板 6004 により連結される。6030 は密閉容器 6003 の取り付け板であり、この取り付け板 6030 に連結板 6004 が取り付けられている。

10 傾斜磁場コイル 6002 は、防振ゴム 6012 及び位置調整用ボルト 6011 を介して支柱 6013 にマウントされている。弾性素材からなる防振ゴム 6012 は、空気ダンパーまたはオイルダンパーでもよい。防振ゴム 6012 は、傾斜磁場コイル 6002 の固体振動を減衰させ、これが位置調整用ボルト 6011 を介して支柱 6013 に伝播するのを効果的に防止できる。位置調整用ボルト 6011 は傾斜磁場コイル 6002 の配置を微小調整するためのものである。支柱 6 15 013 はシャフト 6014 を介してベース 6015 に取付けられている。

密閉容器 6003 には、O リング 6017 を介して真空管 6006 及び真空ポンプ 6007 が接続されている。真空ポンプ 6007 の吸気動作により密閉容器 6003 内は真空に保たれる。その真空度は傾斜磁場コイル 6002 による振動 20 音の空気伝播を遮断できる程度で良く、具体的には数百パスカル程度で十分である。また遮音効果は次のように表される。なお、次式における P1 は密閉容器 6003 内の真空度 (パスカル) である。

$$S = 20 \log_{10} (P1 / 1.01325 \times 10^5) \quad (\text{デシベル: dB})$$

例えば、密閉容器 6003 内の真空度が 1000 パスカルであれば約 40 dB 25 の遮音効果が得られることになる。

また密閉容器 6003 には、傾斜磁場コイル 6002 から発生する熱を水冷で放出するカプラ及びチューブ 60018 が接続されている。密閉容器 6003 の底部においてシャフト 6014 に対応する位置には、金属製の (蛇腹) 6019 が設けられており、これにより所要の真空度および分解／組立性が確保されてい

る。

円筒形状をなす傾斜磁場コイル 6002 の内側には、RF コイル 6010 が固定配置される。この RF コイル 6010 は、全身 (Whole Body) 用の RF コイル 5 であって、高周波 (RF) 磁場を被検体に送信し、該被検体からの磁気共鳴 (MR) 信号を受信するためのものである。

本実施例の磁気共鳴イメージング装置では、上記のように、傾斜磁場コイル 6002 が密閉容器 6003 に収容されており、この傾斜磁場コイル 6002 は振動吸収装置 (ダンパー) を介してベース 6015 に接続されており、固体振動伝播の抑止が図られている。

10 図 35 は、傾斜磁場コイルを収容する密閉容器の内外におけるケーブルの端子接続および密閉容器内における傾斜磁場コイルへのケーブル接続を示す図である。

15 図示しない電源から伸びたケーブル 6060 の端子 6061 が、連結板 6004 の軸状の導体部 6082 にねじ止めされている。この導体部 6082 は連結板 6004 の内部に設けられた中継導体部 6083 に接続されている。図から分かるように中継導体部 6083 は連結板 6004 の上面から下面の方向に貫通し、一部が突出している。この突出部分にケーブル 6008 の端子 6009 が接続されている。ケーブル 6008 のもう一方の端子 6084 は、傾斜磁場コイル 6002 の端子に接続されている。

20 密閉容器 6003 の内部において傾斜磁場コイル 6002 と連結板 6004 との間を結ぶケーブル 6008 の端子接続構造に関し、本実施例の磁気共鳴イメージング装置は、以下に説明する第 1、第 2 の特徴を有する。

まず、連結板 6004 へのケーブル 6008 の接続に係る構成について説明する。図 36 に示すように、まずケーブル 6008 の一端を、ソケット形状のケーブル端子 6009 に插入し、その状態でケーブル端子 6009 を 6 方向から圧縮する。25 それによりケーブル端子 6009 は変形され、断面六角形を有する。六つの方向から圧力を加える六角圧縮による圧着とすることで、通常の 2 方向圧着に比べてケーブル端子 6009 の変形を抑えることができる。連結板 6004 に設けられた中継導体部 6083 にはネジ穴 S が形成されており、このネジ穴 S に、六角圧縮されたケーブル端子 6009 を直接ねじ込む。これによりケーブル 6008 の

振動によるネジの緩みを防止できる。以上により、図35に示すように密閉容器6003の外部に配置されるケーブル6060と、密閉容器6003の内部に配置されるケーブル6008とが電気的に接続されることになる。

5 次に、導体露出部分を完全に覆うように中継導体部 6083 とケーブル端子 6009 との端子接続部分に熱収縮チューブ（熱硬化性樹脂）6010 を被せて絶縁処理した後、連結板 6004 の中継導体部 6083 の周囲に予め形成された溝にシリコン樹脂等 6012 をポッティングする。このようにすると、製造時における作業者による差（製造誤差）が生じにくい適切で確実な絶縁が行える。

次に、傾斜磁場コイル 6002 へのケーブル 6008 の接続に係る構成について説明する。まず、ケーブル 6008 に圧着されたケーブル端子 6084 を、図 35 に示すような絶縁材 6013 により被覆する。この絶縁材 6013 は樹脂等からなり、円筒部分の内部においてケーブル端子 6084 が露出している。これをスペーサ 6014 を介して傾斜磁場コイル 6002 の端子部分に、ネジ 6015 によって固定する。さらに、絶縁材 6013 と傾斜磁場コイル 6002 との接触部分にシリコン樹脂 6016 をポッティングする。また、絶縁材 6013 の円筒のくぼみ部分において、ネジ 6015 が完全に埋没するようにシリコン樹脂等 6016 をポッティングする。このようにすると、中継導体部 6083 側へのケーブル端子の接続と同様に、製造時における作業者による差（製造誤差）が生じにくい適切で確実な絶縁が行える。

20 また、シリコン樹脂6016については、絶縁材6013との接着性がよく硬化性の高い材質のものを選定することにより、振動等によりネジ6015が緩むことを併せて防止できる。

また、ケーブル6008の被覆については、ポッティング剤との接着性が高い材質であって、かつ、可とう（撓）性に優れた材質（例えばシリコン樹脂）のものを選定することが好ましい。これにより絶縁性が向上するだけでなく、ケーブルに発生するローレンツ力による振動を併せて低減でき、遮音効果を向上できる。

以上説明した本実施例によれば、密閉容器6003内における、連結板6004の中継導体部6083とケーブル6008の端子6009との接続箇所、および傾斜磁場コイル6002へのケーブル6008の接続箇所に関して、製造時に

作業誤差を生じることなく適切で確実な絶縁を施すことができる。

なお、傾斜磁場コイルを密閉容器に収容しない装置構成又は傾斜磁場コイルに振動吸収装置を設けない装置構成の磁気共鳴イメージング装置に本発明を実施しても良い。また、静磁場発生方式は超電導コイルによるもののみに限定されず、

5 また、傾斜磁場コイルも能動遮蔽型傾斜磁場コイルのみに限定されないことは言うまでもない。

(第7実施例)

まず、磁気共鳴イメージング装置の基本的な構成について図37を参照して説明する。磁気共鳴イメージング装置は、画像診断対象の被検体を挿入配置する撮影空間を有したガントリ14と、このガントリ14に隣接して配置される寝台18と、ガントリ14および寝台18の動作を制御するとともにMR信号を処理する制御処理部（コンピュータシステム）とを備えている。なお、ガントリ14には典型的にはその内側中央部に略円筒状に撮影空間が貫通して形成されている。

10 この円筒状の撮影空間に対して、その軸方向をZとし、このZ方向に直交するX方向（左右方向）、Y方向（上下方向）を定義する。

ガントリ14は、静磁場電源2から電流供給を受けて、撮影空間に静磁場H0を発生する静磁場磁石1を備える。この静磁場磁石1は、典型的には、超電導磁石で構成される。静磁場磁石1の全体形状は、略円筒状に形成されている。磁石1のボア内には、傾斜磁場コイル3が配置される。傾斜磁場コイル3は、傾斜磁場電源4から個別に電流供給を受けてXYZ各軸に関する傾斜磁場を発生するための3組のコイル3x、3y、3zからなる。この傾斜磁場コイル3は、騒音対策の為に、真空ポンプで内部が真空又はそれに近い状態に維持される密閉容器内に収容されている。

20 傾斜磁場コイル3のさらに内側には、高周波コイル（RFコイル）7が配置される。RFコイル7には、送信器8T及び受信器8Rとが接続されている。送信器8Tは、シーケンサ5の制御のもと、核磁気共鳴（NMR）を励起させるためのラーモア周波数で振動する電流パルスを高周波コイル7に供給する。受信器8Rは、高周波コイル7を介してMR信号（高周波信号）を受信し、各種の信号処理を施して、対応するデジタル信号を形成する。

シーケンサ 5 は、装置全体を管理するコントローラ 6 の制御の下に置かれている。コントローラ 6 には、入力器 13 が接続される。オペレーションは、入力器 13 を介して、スピンドル法 (S E) やエコープラナー法 (E P I) 等の複数種類のパルスシーケンスの中から所望とするパルスシーケンスを選択することができる。コントローラ 6 は、選択されたパルスシーケンスをシーケンサ 5 にセットする。シーケンサ 5 は、セットされたパルスシーケンスにしたがって、X、Y、Z 軸方向の各傾斜磁場の印加タイミング、その強度、高周波磁場の印加タイミング、振幅、継続時間等を制御する。

演算ユニット 10 は、受信器 8 R で形成されたMR信号 (デジタルデータ) を入力して、内蔵するメモリで形成される2次元フーリエ空間への実測データの配置、画像再構成のためのフーリエ変換などの処理を行い、画像データやスペクトルデータを発生する。記憶ユニット 11 は、演算された画像データを保管する。表示器 12 は、画像を表示する。

次に以上のような基本構成を備える磁気共鳴イメージング装置に関する実施例について説明する。

図 38 は、第 7 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図を示している。傾斜磁場コイル 102 は、ノン・シールド型であってもよいし、アクティブシールド型であってもよい。傾斜磁場コイル 102 は、その巻線として x コイル、y コイルおよび z コイルを有する。それら x コイル、y コイルおよび z コイルは、円筒形状を有するスプールに含浸される。

この略円筒形状を有する傾斜磁場コイル 102 は、床面上に設置された重量のあるコンクリート製のガントリベース 125 上に支持されている。また、傾斜磁場コイル 102 は、密閉容器 133 に収容されている。密閉容器 133 は、その内壁を構成する略円筒形状を有するライナー 131 と、その真空蓋 132 とを有する。密閉容器 133 の背面は、静磁場磁石 (ここでは超電導コイル) を極低温環境に置くためのクライオスタット 116 の内壁 117 で閉じられている。クライオスタット 116 の側壁 118 は、接合板 135 で真空蓋 132 に接合されている。密閉容器 133 とガントリベース 125 との間は、密閉容器 133 の気密性を保つために、真空ベローズ 134 でつなぎ合わされている。

密閉容器133の内部空気は、真空ポンプにより排気され、密閉容器133の内部は真空又はそれに近い状態に保持されている。それにより傾斜磁場コイル102を発生源とする騒音の空気伝搬を防止している。

ライナー131の内面には、RFコイル103が配置され、このRFコイル103を介して被検体に高周波磁場を印加し、また被検体からのMR信号を受信する。

このような構成において、クライオスタット116の側壁118と、接合板135との接続部分において真空リークが生じやすい。この真空リークを防止するために、クライオスタット116の側壁118と接合板135との間に、真空シール用のOリング108を挟み込んでいる。しかし、クライオスタット116の側壁118の面精度はあまり高くない。そのためクライオスタット116の側面118に対するOリング108の接触精度が余り高くなく、Oリング108のシール性能は十分ではない。

これに対して本実施例では、図39に示すように、クライオスタット116の側壁118に、環状のフランジ106を溶接し（参照番号107）、このフランジ106に対して、密閉容器133の接合板135をOリング108を介してボルト109で固定するようにしている。フランジ106は削り出し等により高い精度で成形することができる。従って、フランジ106はOリング108と良好に接触することができるので、Oリング108のシール性能を最大限引き出すことができる。また、クライオスタット116の側壁118とフランジ106と接続は、溶接により行うので、この間の気密性は確保される。従って、密閉容器133の内部の略真空状態を維持することができ、振動や騒音の空気伝搬を良好に遮蔽することができる。

（第8実施例）

図40Aには、第8実施例に係る傾斜磁場コイルの密閉容器の外観を示している。騒音対策の為に傾斜磁場コイルは、略真空状態に保持される密閉容器201に収容される。このため従来では、傾斜磁場コイルの位置を確認するために、密閉容器201を部分的に解体する必要があった。

これに対して本実施例では、密閉容器201の側壁207それぞれは、左右一

対に円形に割り抜かれている。この部分に、可視光透過性のガラス又は纖維強化プラスティック等から作成される窓 202 がはめ込まれている。この窓 202 を通して密閉容器 201 内の傾斜磁場コイルの位置を外部から簡単に視認することができる。

5 図 40B に示すように、傾斜磁場コイル 204 には、その位置を表す目盛り 206 が取り付けられている。目盛り 206 は、窓 202 を通して視認することができる。この目盛り 206 を見ながら、静磁場磁石 205 に対する傾斜磁場コイル 204 の相対的な位置を客観的に把握することができる。

また、図 40C に示すように、密閉容器 201 の脚部 203 は、ベース 212 を有する。このベース 212 に垂直に開けられた孔に、傾斜磁場コイル 204 を支持する支柱 213 が上下に移動可能にはめ込まれている。支柱 213 の外周にはねじ山が切られており、このねじ山に、交差軸でネジ 215 がかみ合わされている。ネジ 215 の先端部のダイヤル 214 を回転することにより、容器 201 の内部で、支柱 213 が傾斜磁場コイル 204 と共に上下方向に移動する。これにより静磁場磁石 205 に対して、傾斜磁場コイル 204 の相対的な位置を調整することができる。

20 このように容器を解体しなくとも、傾斜磁場コイルを外部から視認することができ、しかも位置調整を行うことができるので、気密性が劣化する機会を減らすことができる。これにより容器の気密性を確保して、振動や騒音の空気伝搬の遮蔽効果を高くすることができる。

また、図 40D に示すように、密閉容器 201 の側壁 207 に、接合板 235 を介して静磁場磁石容器 217 に接合するが、その側壁 207 と接合板 235 とを接合するコーナーの部分に、ラウンドをつける。同様に、側壁 207 と接合板 235 との接合部分だけでなく、密閉容器 201 の円筒状の内壁（ライナー）と接合板 235 とを接合するコーナーの部分にも、ラウンドをつける。これらにより傾斜磁場コイルを収容している密閉容器の大気圧に対する耐性を向上させることができる。

（第 9 実施例）

図 41 には、第 9 実施例に係る傾斜磁場コイルの密閉容器の外観を示している。

傾斜磁場コイルは、密閉容器301に収容される。傾斜磁場コイル102を発生源とする騒音の空気伝搬を防止するために、密閉容器301の内部空気は、真空ポンプにより排気され、密閉容器133の内部は真空又はそれに近い状態に保持されている。それにより密閉容器133は大気圧を受ける。このため、密閉容器133の強度が重要である。上記実施例では、密閉容器133の側壁204に窓302を取り付けている。本実施例では、この窓302の部分の強度を増加させるために、当該窓302の周囲の側壁304を、ハーフパイプのような丸み形状を有する凸部303に形成することで、窓302の周囲の部分の強度を補強するようしている。

10 この補強により密閉容器301の真空度（内部圧力）を十分高める（下げる）ことができ、振動や騒音の空気伝搬の遮蔽効果を高くすることができる。

さらに、図42に示すように、密閉容器301は、その内壁を構成する略円筒形状を有するライナー309と、その真空蓋307とを有する。密閉容器301の背面は、静磁場磁石（ここでは超電導コイル）を極低温環境に置くためのクライオスタット306の内壁で閉じられている。クライオスタット306の側壁311は、真空蓋307に接合されている。

実際の製造工程では、クライオスタット306の長さL1に対して、それをはめ込む密閉容器301の開口部分の長さL2が合わないことがある。この場合、容器301の気密性が低下して、真空リークが発生する。これを解決するために、本実施例ではさらに、密閉容器301のライナー309と真空蓋307との間に、環状のパッキング310を挟み込むことができるようになっている。従って、クライオスタット306の長さL1に対して、それをはめ込む密閉容器301の開口部分の長さL2が合わないときには、適当な幅のパッキング310を挟んで密閉容器301のライナー309と真空蓋307とを接合することで、クライオスタット306の長さL1に対して、それをはめ込む密閉容器301の開口部分の長さL2を容易に合わせることができる。

このパッキング310により密閉容器301とクライオスタット306との接合精度を向上して、容器301の気密性を高めることができる。それにより振動や騒音の空気伝搬の遮蔽効果を高くすることができる。

(第10実施例)

ガントリにおける振動や騒音の発生源は、傾斜磁場コイルだけではない。例え
ば、静磁場磁石として採用した超電導コイルの熱交換器がある。図43、図44

には、本実施例に係る熱交換器の断面図を示している。超電導コイル401は、

5 クライオスタット404に収容されている。クライオスタット404は、超電導
コイル401を液体窒素とともに収容する液体窒素槽の外周を熱輻射シールド4
02, 405, 406で多重に取り囲むように構成される。

このクライオスタット404には、シールド402から吸熱し、それを外部に
排熱する熱交換器407が設けられている。熱交換器407は、底部がシールド
10 402に接触されているシリンダー408と、シリンダー408を蓋するもので、
ヘリウムガスHeにより冷却されているコールドヘッド411と、シリンダー4
08内であって、その底部とコールドヘッド411との間をヘリウムガスHeの
圧力によりピストン運動をするディスプレッサー409と、真空ベローズ410
とから構成されている。

15 ディスプレッサー409が底部にあるとき、ディスプレッサー409はシール
ド402から熱を吸収する。ディスプレッサー409が頂部にあるとき、ディス
プレッサー409はコールドヘッド411に熱を渡す。このような動作を繰り返
すことでき、シールド402から排熱することができる。

上述したようにディスプレッサー409は、シリンダー408内をピストン運
20 動をするので、振動が発生する。この振動は、シールド402, 405, 406
に機械的に伝搬する。それにより騒音が発生する。

この振動を吸収するために、コールドヘッド411に動的収振器414が搭載
されている。この動的収振器414は、弾性体として例えばバネ412の伸縮方
向がディスプレッサー409のピストン運動の方向と略平行になるように、バネ
25 412がコールドヘッド411上に接続され、このバネ412に重り413が接
続されている。ディスプレッサー409がピストン運動をすると、それに追従し
て重り413が上下動をする。それによりディスプレッサー409を発生源とす
るコールドヘッド411の振動が動的収振器414に吸収され、結果的に騒音が
軽減される。

通常、ディスプレッサー409は商用電源の周波数でピストン運動をする。動的吸振器414は、この周波数でピストン運動をするディスプレッサー409を発生源とする振動に共振するように、バネ412の弾力及び重り413の質量が設定されている。これにより効果的に振動を吸収することができる。

5 なお、図45に示すように、シリンダー408-1, 408-2、ディスプレッサー409-1, 409-2、コールドヘッド411-1, 411-2を2つずつ設け、つまり熱交換器を2系統設け、それら2系統の熱交換器を、ピストン運動軸が互いに対向するようにアレンジし、そしてディスプレッサー409-1, 409-2を互いに逆相でピストン運動をさせるようにしても、振動は軽減され
10 える。

(第11実施例)

図46は、第11実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図を示している。傾斜磁場コイル502は、その巻線としてxコイル、yコイルおよびzコイルを有する。それらxコイル、yコイルおよびzコイルは、円筒形状を有するスプールに含浸される。この略円筒形状を有する傾斜磁場コイル502は、床面上に設置された重量のあるコンクリート製のガントリベース525上に支持されている。また、傾斜磁場コイル502は、密閉容器533に収容されている。密閉容器533は、その内壁を構成する略円筒形状を有するライナー531と、その真空蓋532とを有する。密閉容器533の背面は、静磁場磁石
15 (ここでは超電導コイル) を極低温環境に置くためのクライオスタット516の内壁517で閉じられている。クライオスタット516の側壁518は、接合板535で真空蓋532に接合されている。密閉容器533とガントリベース525との間は、密閉容器533の気密性を保つために、真空ベローズ534でつなぎ合わされている。

20 傾斜磁場コイル502の振動は、密閉容器533に機械的に伝搬する。傾斜磁場コイル502の振動の周波数は、パルスシーケンスの傾斜磁場の交番周波数に等価である。この傾斜磁場コイル502の振動に対して、密閉容器533のライナー531及び真空蓋532が共振しないように、つまり傾斜磁場コイル502の振動周波数に対して、ライナー531の固有振動数及び真空蓋532の固有振

動数の固有振動数がそれぞれ相違するように、ライナー531及び真空蓋532に離散的に重り541、542、543、544が装着されている。

5 真空蓋532に装着される重り544は、例えば非磁性の金属片である。また、ライナー53には、その内壁に沿って円環形状のゲル状の物質541、542、543が、装着される。物質541、542、543が装着される場所は、RFコイル503のQ値の低下を避けるために、RFコイル503の外側である。

3 このような構造によると、傾斜磁場コイル502の振動に対して、密閉容器533のライナー531及び真空蓋532が共振しない。従って騒音が低減される。

10 なお、ライナー531及び真空蓋532に重りを装着する代わりに、又はそれと共に、ライナー531及び真空蓋532の厚さを部分的に薄くするようしてもよい。要するに、固有振動数をずらすために、ライナー531及び真空蓋532の質量を部分的に増減することが本実施例のポイントである。また、固有振動数のシフトとともに、補強の為に、梁や筋交いを入れるようにもよい。

(第12実施例)

15 図47は、第12実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図を示している。傾斜磁場コイル602は、その巻線としてxコイル、yコイルおよびzコイルを有する。それらxコイル、yコイルおよびzコイルは、円筒形状を有するスプールに含浸される。この略円筒形状を有する傾斜磁場コイル602は、床面上に設置された重量のあるコンクリート製のガントリベース625上に支持されている。また、傾斜磁場コイル602は、密閉容器633に収容されている。密閉容器633は、略円筒形状を有するライナー631と、その略円環板形状を有する真空蓋632と、略円筒形状を有するバックケーシング634とを有する。密閉容器633のバックケーシング634の外側には、静磁場磁石（ここでは超電導コイル）を極低温環境に置くためのクライオスタッフ616が配置されている。ライナー631の内面には、RFコイル635が配置され、このRFコイル635を介して被検体に高周波磁場を印加し、また被検体からのMR信号を受信する。

25 本実施例のポイントは、傾斜磁場コイル602を収容する密閉容器633に、クライオスタッフ616の内壁を利用してないこと、換言すると、密閉容器6

33は、クライオスタット616とは完全に別体で構成することにある。傾斜磁場コイル602を収容する密閉容器633に、クライオスタット616の内壁を利用する場合、クライオスタット616の低い面精度及び寸法誤差等を原因として、その接合部分において真空リークが発生しやすい。しかし、本実施例では、

5 密閉容器633にクライオスタット616を接合しない、つまり密閉容器633を単独で製作するので、クライオスタット616の低い面精度及び寸法誤差等に依存することなく、高い気密性を達成することができる。

(第13実施例)

第13実施例は、ガントリ内の金属部品どうしの擦れ合いによるB電波の発生及び誘導電子の発生防止を目的としてなされたものであり、物理的に振動する又はその振動が伝播する磁気共鳴装置のガントリを構成するすべての金属部品の締結に適用可能である。

ガントリは非常に多くの金属部品から構成されており、これら部品を締結するには主に金属ネジが使われている。例えば、図48Aに示すように、金属製のガントリフレーム724に、銅製のチューナ板724を取り付ける場合、従来では、金属ネジ723と金属インサート722とを使うことが一般的である。またガントリ内には多くのキャパシタが設けられているが、このキャパシタをチューナ板等に取り付ける場合、またRFコイルチューナのコネクタをチューナ板に締結する場合にも、金属ネジが多く使われている。このようにガントリ内では部品の固定には殆どの個所で金属ネジが使われており、図48Bに示すように、この金属ネジと金属部品、さらには金属部品どうしが上述した激しい振動により擦れ合うと、いわゆるB電波が発生する。このB電波はRFコイルで拾われてしまい、画像アーチファクトを発生させることがあるが、最近までそれほど問題視されることは無かつた。しかし、近年の傾斜磁場高速化及び高強度化を実現するためにますます高電圧化が進み、それに伴ってB電波もますます強くなる傾向にある。現在では既に、この強くなったB電波ノイズに起因する画像アーチファクトが無視できないほどに拡大している。また、B電波だけでなく、例えばコネクタとチューナ板との間の接触、振動によって誘導される電子が、そのまま信号線に混入し、画像アーチファクトを発生させることも問題視されている。

本実施例は、このようなノイズの原因になるB電波や誘導電子の発生を防止することを目的としてなされたものである。

ガントリは、周知の通り、静磁場磁石、傾斜磁場コイル、RFコイルを主な構成要素とする磁石装置であり、多くの金属部品を備えている。これら金属部品を他の部品に取り付ける個所も膨大に存在する。この取付個所は大きく2種類に分けることができ、図49、図50に示すように、一方は、RFコイルを構成する銅板709、710どうし取り付け、そのRFコイル銅板709、710とキャパシタ711との取り付け、RFコイル銅板710とリード銅板703との取り付け、リード銅板703とRFコイルチューナの銅板704との取り付け、RFコイルチューナの銅板704とコネクタ706との取り付け、RFコイルチューナの銅板704とキャパシタ715との取り付けに代表されるような部品どうしを物理的に固定するとともに、電気的な接続を必要とする個所であり、他方は、単に、部品どうしを物理的に固定することを主目的として、電気的な接続を必要としない個所である。

前者の個所で、最も好ましいは、半田705を使って取り付けることである。この場合、部品どうしでは擦れ合いはおきないので、B電波は生じないし、誘導電子も発生しない。しかし、半田では締結力が弱くて使えない個所も在る。この個所には、ネジが使われる。

図51には、その一例として、樹脂ネジ733を使って金属部品731、732どうしを取り付ける例を示している。従来では金属ネジを使っていたので、この金属ネジと金属部品731との間、及び金属ネジと金属部品732との間の擦れ合いによりB電波及び誘導電子が発生することは避けられなかつた。しかし、本例では、樹脂ネジ733を使うので、これらの発生は防止できる。

図52に、他の例として、金属ネジ734を使って金属部品731、732どうしを取り付ける例を示していて、金属ネジ734と金属部品731との間の接触を避けるために、略円筒形の樹脂スペーサ735を用い、また金属ネジ734と金属部品732との間の接触を避けるために、樹脂タップ736を用いている。この例では、金属ネジ734を使いながらも、その金属ネジ734と金属部品731との間、また金属ネジ734と金属部品732との間を、樹脂部材735、

736で絶縁していることで、B電波及び誘導電子の発生を防止することができる。

もちろん図51、図52のいずれの取り付け方法を採用してもよいし、両方法を形容してもよい。また、ガントリ内の当該個所全てに図51、図52の取り付け方法を採用しなくても、一部の個所だけに採用するだけでも、B電波及び誘導電子の発生を減少させるという効果が期待できる。

後者の取り付け個所、つまり単に、部品どうしを物理的に固定することを目的として、電気的な接続を必要としない個所では、例えば図53に示すように、樹脂ネジ733で金属部品737、738を取り付けるのであるが、金属部品737、738の間に絶縁シート739をはさみ込むことで、従来のような金属ネジと金属部品間の擦れ合いによるB電波及び誘導電子の発生を防止することだけでなく、金属部品737、738の間の擦れ合いによるB電波及び誘導電子の発生を防止することも可能である。

また、図54の例では、金属ネジ734を使って、金属部品737、738どうしを取り付ける例を示していて、金属ネジ734と金属部品737との間の接触を避けるために、略円筒形の樹脂スペーサ740を用い、また金属ネジ734と金属部品738との間の接触を避けるために、樹脂タップ741を用いている。この例では、金属ネジ734を使いながらも、その金属ネジ734と金属部品737との間、また金属ネジ734と金属部品738との間を、樹脂部材740、741で絶縁していることで、B電波及び誘導電子の発生を防止することができる。

もちろん図53、図54のいずれの取り付け方法を採用してもよいし、両方法を形容してもよい。また、ガントリ内の当該個所全てに図53、図54の取り付け方法を採用しなくても、一部の個所だけに採用するだけでも、B電波及び誘導電子の発生を減少させるという効果が期待できる。

また、金属部品どうしの取り付けだけでなく、金属部品と、コイルスプール等の樹脂部品との取り付け個所においても、図53や図54の取り付け方法を採用することで、従来発生していた金属ネジと金属部品との擦れ合いによるB電波及び誘導電子の発生を防止することができる。

(第14実施例)

第14実施例は、RFコイルの外周に配置されるRFシールドの改良に関する。

R F シールドは、R F コイルを外部に対して磁気的に隔離して、R F コイルに外

部から入ってくる電磁波ノイズを遮蔽するために、典型的には銅製の筒で構成さ

5 れる。この銅製の筒には、傾斜磁場の高速スイッチングに因り渦電流が生じ、傾斜磁場に歪みを生じさせる。この渦電流の時定数を短縮するために、多くのスリットが銅製筒に形成されている。

また、傾斜磁場のような比較的周波数の低い（100 KHz程度まで）磁場は通過し、励起パルス等の数MHz～数10MHzの高周波磁場は遮断する、つまり

り低周波インピーダンスを高くし、高周波インピーダンスを低くするために、スリットをまたいで銅板間にキャパシタが接続されている。他のRFシールドの従来構成として、誘電体基板の表面に複数の銅板を隙間（スリット）をあけて貼り付け、さらに裏面にも複数の銅板を貼り付けることにより、表裏面間に容量を形成したRFシールドもある。

エコー・プラナー・イメージング (EPI) のような高速イメージング法が、例えば心臓の撮影などには必要とされているが、これには極めて迅速な傾斜磁場の応答が不可欠となる。このために、細かい刻み（間隔）で多数のスリットを設ける必要が生じる。しかし多数のスリットを設けると、銅板面積の低下に伴って容量が低下し、それにより個々のスリットにおける高周波的な短絡が不完全となる。その結果、シールド機能は不完全になる。

本実施例は、スリットの数を増加させることと、容量の低下を防止することとをともに実現するものである。

図55は、本実施例に係るRFシールドの部分的な斜視図を示している。誘電体基板801の表面に複数の銅板802が所定の隙間（スリット）805をあけて貼り付けられている。誘電体基板801の裏面にも、同様に、複数の銅板803が所定の隙間（スリット）806をあけて貼り付けられている。誘電体基板801を挟んで対向する銅板802、803の間に、容量が形成される。

さらに、誘電体基板801の表面において、隣り合う銅板802の間にキャパシタ804が接続される。同様に、誘電体基板801の裏面において、隣り合う

銅板 803 の間にキャパシタ 805 が接続される。

このように構成では、表面のキャパシタ 804 と、裏面のキャパシタ 805 と、そして表面の銅板 802 と裏面銅板 803 との間の容量との合計容量は、高周波的な短絡を完全にするのに十分な容量として確保される。

5 (第 15 実施例)

図 56 は、第 15 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置のガントリの縦断面図を示している。傾斜磁場コイル 902 は、その巻線として x コイル、y コイルおよび z コイルを有する。それら x コイル、y コイルおよび z コイルは、円筒形状を有するスプールに含浸される。この略円筒形状を有する傾斜磁場コイル 902 は、床面上に設置された重量のあるコンクリート製のガントリベース 925 上に支持されている。また、傾斜磁場コイル 902 は、密閉容器 933 に収容されている。密閉容器 933 は、その内壁を構成する略円筒形状を有するライナー 931 と、その真空蓋 932 とを有する。密閉容器 933 の背面は、静磁場磁石（ここでは超電導コイル）を極低温環境に置くためのクライオスタット 916 の内壁 917 で閉じられている。クライオスタット 916 の側壁 918 は、接合板 935 で真空蓋 932 に接合されている。密閉容器 933 とガントリベース 925 との間は、密閉容器 933 の気密性を保つために、真空ベローズ 934 でつなぎ合わされている。

ライナー 931 の内面には、RF コイル 903 が配置される。この RF コイル 903 には送信器及び受信器が接続される。送信器は、高周波磁場により被検体の核磁化を励起状態にするために、ラーモア周波数に対応する高周波電流パルスを RF コイル 903 に供給するために設けられるもので、典型的には、発振部、位相選択部、周波数変換部、振幅変調部、高周波電力増幅部から構成される。また、受信器は、RF コイル 903 を介して被検体からの MR 信号を受信するために、前段増幅部、中間周波数変換部、位相検波部、低周波増幅部、ローパスフィルタ、AD 変換器から構成される。

これら送信器及び受信器は、RF ユニット 940 の中に収められている。RF ユニット 940 の配置場所は、ケーブルを短縮して、電力損失やノイズ低減を図るために、RF コイル 903 に近い場所に設定されている。従来では、図 56 に

点線で示すように、開口部 941 の縁部に近い真空蓋 932 に RF ユニットを取り付けている。しかし、この場所は傾斜磁場コイル 902 からの漏れ磁場が最も大きい場所である。RF ユニット 940 は導電性部品を多く含み、これら導電性部品に、傾斜磁場コイル 902 のから漏れ磁場により渦電流が発生し、その結果、

5 導電性部品はローレンツ力により振動する。この振動が密閉容器 933 に伝わり騒音が発生する。

本実施例はこの RF ユニット 940 を発生源とする騒音を低減することを目的としている。

RF ユニット 940 は、開口部 941 の縁部に近い真空蓋 932 ではなく、さらに密閉容器 933 とは物理的に離間した場所、ここでは中心軸（Z 軸）からガントリ円筒の半径方向に関して、RF コイル 903 の外側であって、開口部 941 に近いその真下付近に設置される。具体的には、RF ユニット 940 は、重量のあるコンクリート製のガントリベース 925、またはそれとは別体の専用のベース上に設置する。

15 この設置場所は、従来の設置場所よりも、RF コイル 903 からの漏れ磁場の影響が少ない。そのため RF ユニット 940 は導電性部品の振動は軽減される。しかも、RF コイル 903 を密閉容器 933 から物理的に離間させたこと、さらに、質量の重いコンクリート製のガントリベース 925 に取り付けたので、RF コイル 903 の微小な振動は、密閉容器 933 にほとんど伝わらない。

20 従って RF ユニット 940 を発生源とする騒音は低減され得る。

（第 16 実施例）

上述したように傾斜磁場コイルは、騒音対策の為に、真空ポンプで内部空気が排気される密閉容器内に収容されている。密閉容器内の真圧度（圧力）が高い（低い）ほど、騒音遮蔽効果は大きい。密閉容器内の真圧度を高くするために、

25 従来では、スキャン中、連続的に真空ポンプは運転されている。この連続運転は、真空ポンプの寿命を短縮する。能力が低下した真空ポンプを使うことは、密閉容器内の真圧度を高くすることができず、騒音遮蔽効果は低下する。

本実施例は、真空ポンプの負荷を軽減することで、騒音遮蔽効果をできるだけ長く持続することを実現する。

図5 7には、本実施例に係る真空ポンプ及び配管システムを示している。密閉容器1001はメインチューブ1003を介して真空ポンプ1002に接続される。メインチューブ1003の途中には電磁バルブ1004が配置される。メインチューブ1003にはブランチチューブ1005が連結され、その先は電磁バルブ1006を介して開放されている。

5 真空ポンプ1002の運転、電磁バルブ1004の開閉、および電磁バルブ1006の開閉は、ポンプ/バルブ制御部1020の制御下にある。真空ポンプ1002は、ポンプ/バルブ制御部1020の制御に従って、図5 8に示すように、運転(ON)と停止(OFF)とを交互に繰り返す。運転期間T1の長さと停止期間T2の長さとは、密閉容器1001内の圧力が所定の上限値を超えないように予め設定されている。これら運転期間T1の長さと停止期間T2の長さとは、それぞれ任意に調整可能である。

10 このように真空ポンプ1002を、連続的ではなく、間欠的に運転することにより、真空ポンプ1002を連続的に運転する場合よりも、オイルやオイルフィルター等のメンテナンス頻度を減らすことができる。

15 図5 9に示すように、電磁バルブ1004の開閉、および電磁バルブ1006の開閉は、このような真空ポンプ1002の間欠的な運転に対して、ポンプ/バルブ制御部1020により関連されている。

20 まず、ブランチチューブ1005の電磁バルブ1006は、真空ポンプ1002の間欠的な運転に同期して開閉される。つまり、電磁バルブ1006は、真空ポンプ1002のオフからオンへの切替に同期して閉じられ、真空ポンプ1002のオンからオフへの切替に同期して開けられる。

25 一方、メインチューブ1003の電磁バルブ1004は、真空ポンプ1002の負荷を軽減するために、真空ポンプ1002のオフからオンへの切替タイミングに対して、それより時間T3だけ遅れて開けられ、真空ポンプ1002のオンからオフへの切替タイミングに対して、それより時間T4だけ早いタイミングで閉じられる。これらの時間差T3、T4は、数秒から数分の中から任意時間に設定される。

30 真空ポンプ1002のオフからオンへの切替タイミングから時間T3だけ遅れ

て電磁バルブ 1004を開けることにより、真空ポンプ 1002 は、オンスタートしてから時間 T3 という比較的短時間の間（プレバキューム期間）に、真空ポンプ 1002 内の潤滑を完了することができる。これは、排気対象が、ポンプ吸気口から電磁バルブ 1004 までの小さい容積であることを理由としている。そして 5 オンスタートしてから時間 T3 経過後に、メインチューブ 1003 のバルブ 1004 が開けられ、電磁バルブ 1004 から密閉容器 1001 までの容積と密閉容器 1001 の容積との合計の大容量を対象として排気オペレーション（メインバキューム）が開始されるが、このとき真空ポンプ 1002 内の潤滑がすでに完了していることから、このメインバキュームオペレーションにスムーズに移行 10 することができる。従って真空ポンプ 1002 の負荷は軽減され得る。

次に、真空ポンプ 1002 がオンスタートしてから所定時間（T1-T4）経過後、つまり真空ポンプ 1002 がオフになるタイミングよりも時間 T4 早いタイミングで、メインチューブ 1003 のバルブ 1004 が閉じられる。これは、密閉容器 1001 の圧力が十分低下した状態で、真空ポンプ 1002 から密閉容器 1001 を分離することを意味する。これにより真空ポンプ 1002 の停止に伴う密閉容器 1001 内の圧力の急激な上昇を未然に防止することができる。 15

（第 17 実施例）

図 60 に第 17 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の主要部の構成を示している。ガントリ 1101 には、静磁場 H0 を発生する静磁場磁石 1102 と、傾斜磁場電源（G-amp）1105 から電流供給を受ける傾斜磁場コイル 1103 と、RF コイル 1104 と、シムコイル電源（Sim-amp）1107 から電流供給を受けて静磁場不均一性を補正する磁場を発生する複数のシムコイル 1116 とが組み込まれている。

傾斜磁場コイル 1103 は、騒音対策の為に、真空ポンプ 1111 で内部が真空又はそれに近い状態に維持される密閉容器 1115 内に収容されている。密閉容器 1115 の内部には、内部圧力を測定するための複数の真空度センサ（真空度計）1112 が離散的に配置されている。真空度センサ 1112 で測定した真空度データは、記憶部 1113 に送られ記憶される。またこの記憶部 1113 には真空度データとともに、真空ポンプ 1111 からの運転状況データが記憶され 25

る。運転状況データは、真空ポンプ1111の運転時間を表している。

メンテナンス情報発生部1114は、記憶部1113に記憶されている真空度データ及び運転状況データに基づいて密閉容器1115及び真空ポンプ1111のメンテナンス情報を適時発生する。メンテナンス情報発生部1114は、5 真空度データから密閉容器1115内の真空度（圧力）が、撮影領域での騒音が例えば99dBに対応する所定圧力よりも下がらないとき、真空ポンプ1111及び密閉容器1115のメンテナンスを促すメンテナンス情報を発生する。また、メンテナンス情報発生部1114は、運転状況データから累積運転時間を計算し、10 その累積運転時間が所定値を超えたとき、真空ポンプ1111のメンテナンスを促すメンテナンス情報を発生する。メンテナンス情報は、密閉容器1115及び真空ポンプ1111のメンテナンスを促すための例えばメッセージであり、ディスプレイ1110に表示される。

受信器1108は、RFコイル1104を介してMR信号（高周波信号）を収集し、検波、AD変換等の前処理を施して、プロセッサ1109に出力する。プロセッサ1109は、収集したMRデータを処理し画像やスペクトルを発生する。これら画像やスペクトルはディスプレイ1110に送られ表示される。

上記プロセッサ1109は、画像やスペクトルを発生するメインの機能の他に、真空度データに基づいて、受信器1108で収集したMRデータの位相を補正し、また周波数シフトを行う機能を備えている。真空度が変動すると、それに伴って20 静磁場H0の強度も変動する。静磁場の強度H0が変動すると、それに伴って傾斜磁場が重畠していない静磁場のもとでの例えばプロトンの共鳴周波数f0も変動する。プロセッサ1109は、予め計測された真空度と共鳴周波数f0との関係を表すデータを保持しており、この関係データを参照して、真空度データに対応する共鳴周波数（修正共鳴周波数）f0を特定する。この修正共鳴周波数f0に基づいて、MRS（MRスペクトロスコピー）では、受信器1108で収集したMRデータの位相を補正し、周波数をシフトする。この補正したデータに基づいてスペクトルを発生する。実際には、データ収集を何度も繰り返し、それぞれのデータごとに個別に位相補正及び周波数シフトを行って、複数のスペクトルを発生し、これら複数のスペクトルを加算することが行われる。EPI（エコーポ

ラナーメージング) のときには、収集データに基づいて E P I 画像を発生し、その E P I 画像を位相エンコード方向にシフトする (E P I が像の位置シフトは、P E 方向が大きいが、R O 方向にも少し発生する)。実際には、データ収集を何度か繰り返し、それぞれのデータごとに個別に E P I 画像を発生し、各画像を個別に位相エンコード方向にシフトし、これら複数の E P I 画像を加減算することが行われる。位相画像の場合も同様に、修正共鳴周波数 f_0 に基づいて位相シフト量を計算し、その位相シフト量に基づいて位相画像を補正する。

5 このように本実施例によると、メンテナンス情報を適時に発生することができる。また、真空度の変動に応じて位相及び周波数補正をかけることができる。

10 (第18実施例)

図 6 1 に第 18 実施例に係る磁気共鳴イメージング装置の主要部の構成を示している。ガントリ 1 2 0 1 には、静磁場 H_0 を発生する静磁場磁石 1 2 0 2 と、傾斜磁場電源 (G - a m p) 1 2 0 5 から電流供給を受ける傾斜磁場コイル 1 2 0 3 と、送受信器 (R F - a m p) 1 2 0 8 に接続された R F コイル 1 2 0 4 と、シムコイル電源 (S h i m - a m p) 1 2 0 7 から電流供給を受けて静磁場不均一性を補正する磁場を発生する複数のシムコイル 1 2 1 6 とが組み込まれている。

15 傾斜磁場コイル 1 2 0 3 は、騒音対策の為に、真空ポンプ 1 2 1 1 で内部が真空又はそれに近い状態に維持される密閉容器 1 2 1 5 内に収容されている。密閉容器 1 2 1 5 の内部には、内部圧力を測定するための複数の真空度センサ (真空度計) 1 2 1 2 が離散的に配置されている。真空度センサ 1 2 1 2 で測定した真空度データに基づいてリアルタイムマネージャ 1 2 1 0 は、パルスシーケンスに応じて傾斜磁場電源 1 2 0 5 、送受信器 1 2 0 8 、シムコイル電源 1 2 0 7 を制御するシーケンスコントローラ 1 2 0 9 に対してパルスシーケンスの実行を待機させる等の指令を出力する。また、リアルタイムマネージャ 1 2 1 0 は、測定された真空度データに基づいて真空ポンプ 1 2 1 1 の運転を制御する。なお、システムマネージャ 1 2 1 3 はコンソール 1 2 1 4 を介して入力された操作者の指示にしたがってシステム全体の制御を行うために設けられている。

20 まず、リアルタイムマネージャ 1 2 1 0 のリアルタイム制御について説明する。

25 リアルタイムマネージャ 1 2 1 0 は、次の機能を実行する。

(1) スキャン開始に先立って真空ポンプ 1211 が運転を開始するが、このとき密閉容器 1215 内の真空度（密閉容器内部圧力）が所定値を下回るまで、シーケンスコントローラ 1209 に対してスキャン開始の指令を出さない。つまり、リアルタイムマネージャ 1210 は、真空度が所定値を越えた時点で、はじめてシーケンスコントローラ 1209 に対してスキャン開始の指令を発する。

(2) MRS や EPI 等の磁場変動に敏感なパルスシーケンスを行うとき、特にスキャン中に真空ポンプ 1211 を連続運転をさせる。 (3) スキャン中に真空度が所定値を超えたとき、当該スキャンを停止する指令をシーケンスコントローラ 1209 に対してスキャン開始の指令を発する。 (4) 真空度が所定値を下回っているとき、スキャン開始前に真空ポンプ 1211 を運転させ、真空度が所定値に達するまで、シーケンスコントローラ 1209 に対してスキャン開始の指令を出さない。

(5) 撮影条件（パルスシーケンスの種類、アベレージ数、ダイナミック撮影等）に応じて真空ポンプ 1211 の運転パターンを使い分ける。例えば、磁場変動にそれほど敏感でないスピニエコー等のパルスシーケンスを行うとき、図 62 A に示すようにポンプ 1211 を間欠的に運転させる。例えば真空ポンプ 1211 を期間 ΔT_1 運転し、次にその運転を期間 Δt_1 の間停止する。この運転／停止を交互に繰り返す。磁場変動に比較的敏感なパルスシーケンスを行うとき、図 62 B に示すようにポンプ 1211 の運転期間 ΔT_2 及び停止期間 Δt_2 を ΔT_1 及び Δt_1 よりも短縮し、それにより磁場変動幅を小さくする。さらに、MRS や EPI 等の磁場変動に対して非常に敏感なパルスシーケンスを行うとき、上記 (2) と同様に、図 62 C に示すようにポンプ 1211 を連続的に運転する。さらに、MRS や EPI 等の磁場変動に対して非常に敏感なパルスシーケンスを行うとき、ポンプ 1211 を連続的に運転する代わりに、ポンプ 1211 を停止して、密閉容器内部を大気圧にするようにしてもよい。この場合、騒音低減効果は期待できないが、少なくとも磁場変動は解消される。なお、リアルタイムマネージャ 1210 は、大気圧でも良好に画像再構成ができるように、大気圧に対応する画質パラメータ（磁場不均一性、中心周波数、位相ずれ）の情報を予め保持し、これらパラメータに応じて送受信器 1208 は、シムコイル電流、送受信器

1208の高周波電流パルスの中心周波数及び位相、さらに受信系の参照周波数及び位相を調整する。

(6) 測定された真空度と所定値との比較結果に従ってポンプ1211を運転／停止する。つまり、測定された真空度が上限値を超えているとき、ポンプ1211を運転し、逆に測定された真空度が下限値を下回っているとき、ポンプ1211を停止する。これにより真空度の変動を、上限値と下限値の間の範囲に抑えることができる。この上限値、下限値は、(5)と同様に、撮影条件に応じて変更され得る。

(7) さらにポンプ1211を連続運転しても真空度が所定値以下に下がらないとき、音声又は画像表示により警告を発生する。

リアルタイムマネージャ1210は真空度に応じて次のような補正を行う機能も備えている。(1) 真空度に応じて磁場の不均一性は変化する。真空度と磁場不均一性との関係を予め測定し、リアルタイムマネージャ1210に保持させておく。リアルタイムマネージャ1210は、この関係を参照して真空度に応じて磁場不均一性を特定し、その特定した磁場不均一性に応じてシムコイル1207に流すシムコイル電流を調整する。これにより磁場不均一性を即時的に補正することができる。なお、実際的には、真空度と磁場不均一性との関係は離散的に測定され、その離散値から線形補間ににより磁場不均一性を求ることになる。

(2) 真空度が変動すると、それに伴って静磁場の強度も変動し、それにより傾斜磁場が重畠していない静磁場のもとでの例えばプロトンの共鳴周波数B0も変動する。リアルタイムマネージャ1210は、この真空度に対応する共鳴周波数B0に応じて、送受信器1208の送信系の高周波電流パルスの中心周波数及び位相を調整する。また、受信系の参照周波数及び位相を調整する。

Additional advantages and modifications will readily occur to those skilled in the art. Therefore, the invention in its broader aspects is not limited to the specific details and representative embodiments shown and described herein. Accordingly, various modifications may be made without departing from the spirit or scope of the general inventive concept as defined by the appended claims and their equivalents.